



Universitat de Lleida

# TREBALL FINAL DE MÀSTER



ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA  
INSPIRING THE FUTURE

**Estudiant:** Josep M<sup>a</sup> Martí Puigvert

**Titulació:** Màster en Enginyeria Industrial

**Títol de Treball Final de Màster:** Anàlisi energètic en edificis de la UdL

**Director/a:** Marc Medrano Martorell

Presentació

Mes: Juliol

Any: 2018



## **Índex general**

<b>Agraïments .....</b>	<b>10</b>
<b>Resum .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Introducció .....</b>	<b>12</b>
1.1 Causes i efectes del canvi climàtic .....	12
1.2 Acords i solucions .....	16
1.3 Situació energètica .....	19
1.4 Edificis NZEB .....	25
<b>2. Objectius i Abast .....</b>	<b>29</b>
<b>3. Motivació/Justificació .....</b>	<b>31</b>
<b>4. Emplaçament i descripció dels edificis d'estudi .....</b>	<b>33</b>
4.1 Campus de Cappont .....	34
4.2 Campus del Rectorat .....	37
4.3 Campus de l'ETSEA .....	38
4.4 Campus de Ciències de la Salut .....	43
<b>5. Característiques del clima en la zona d'estudi .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Consum energètic en les universitats .....</b>	<b>51</b>
<b>7. Metodologia .....</b>	<b>55</b>
7.1 Selecció de l'abast de l'estudi .....	55
7.2 Compilació de dades .....	55
7.2.1 Compilació de les dades característiques dels edificis .....	55
7.2.2 Compilació de dades energètiques .....	55
7.2.3 Compilació de dades climàtiques .....	56
7.3 Anàlisi global i detallada de les dades energètiques .....	58
7.3.1 Visió general de l'energia .....	58
7.3.2 Anàlisi mensual de les dades de gas .....	58
7.3.3 Anàlisi horari de les dades d'electricitat .....	61
7.3.4 Nivell d'acompliment dels objectius NZEB i propostes de millora energètica .....	65
<b>8. Anàlisis dels resultats .....</b>	<b>66</b>
8.1 Visió general de les dades anuals d'energia .....	66
8.2 Anàlisi mensual de les dades de gas .....	73
8.3 Anàlisi horari de les dades elèctriques .....	79
<b>9. Nivell d'acompliment dels objectius NZEB .....</b>	<b>94</b>
<b>10. Conclusions i propostes de millora .....</b>	<b>101</b>
10.1 Conclusions generals .....	101

<b>10.2 Propostes de millora .....</b>	<b>103</b>
<b>10.3 Línies futures de treball/investigació .....</b>	<b>105</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>107</b>
<b>Annexos .....</b>	<b>110</b>
<b>Annex 1: Codi R per l'anàlisi horari de dades elèctriques.....</b>	<b>110</b>
<b>Annex 2: Línies de rendiment de la calefacció .....</b>	<b>133</b>
<b>Annex 3: Dependències climàtiques de les dades elèctriques horàries.....</b>	<b>142</b>

## **Índex de Taules**

Taula 1: Factors de conversió d'energia final a primària. Font: [15] .....	23
Taula 2: Factors de conversió d'energia final a emissions de CO <sub>2</sub> . Font: [15] .....	24
Taula 3: Instal·lacions de climatització edifici CCCT .....	34
Taula 4: Instal·lacions de climatització edifici Annex CCCT.....	35
Taula 5: Instal·lacions de climatització edifici CREA .....	35
Taula 6: Instal·lacions de climatització edifici EPS .....	35
Taula 7: Instal·lacions de climatització edifici FDET .....	36
Taula 8: Instal·lacions de climatització edifici FEPTS.....	36
Taula 9: Instal·lacions de climatització edifici Polivalent 1 .....	37
Taula 10: Instal·lacions de climatització edifici Rectorat.....	38
Taula 11: Instal·lacions de climatització edifici 1 d'ETSEA.....	39
Taula 12: Instal·lacions de climatització edifici 2 d'ETSEA.....	39
Taula 13: Instal·lacions de climatització edifici 3 d'ETSEA.....	40
Taula 14: Instal·lacions de climatització edifici 4 d'ETSEA.....	40
Taula 15: Instal·lacions de climatització edifici 5A d'ETSEA.....	41
Taula 16: Instal·lacions de climatització edifici 5B d'ETSEA.....	41
Taula 17: Instal·lacions de climatització edifici 6 d'ETSEA.....	41
Taula 18: Instal·lacions de climatització edifici AB d'ETSEA.....	42
Taula 19: Instal·lacions de climatització Facultat de Medicina .....	43
Taula 20: Instal·lacions de climatització Facultat d'Infermeria .....	44
Taula 21: Instal·lacions de climatització Edifici Docent i Estabulari.....	44
Taula 22: Instal·lacions de climatització de l'edifici de Biomedicina.....	45
Taula 23: Taula resum d'informació dels edificis estudiats.....	46
Taula 24: Taula resum característiques climàtiques de Lleida. Font: [41,42] .....	50
Taula 25: Consum d'energia final en el sector serveis al 2015. Font: [14] .....	52
Taula 26: Consums d'energia final del sector educació i de les universitats. Font: [14].....	53
Taula 27: Períodes i festius eliminats en l'anàlisi de dades de consum elèctric.....	63
Taula 28: Requisits per aconseguir la categoria NZEB definida en el prEN ISO/DIS 52000-1 .....	65
Taula 29: Graus dia de calefacció anuals a Lleida des de 2011 al 2017.....	68
Taula 30: Paràmetres de les línies de rendiment de la calefacció a partir de les dades mensuals de consum de gas natural .....	76
Taula 31: Resultats i paràmetres obtinguts del model "change-point" pel consum diari elèctric dels edificis de la UdL. ....	83
Taula 32: Factors d'energia primària definits en la normativa espanyola. Font: [15].....	95
Taula 33: Llindars d'energia primària per diferents països de la UE amb definició oficial per NZEB. Font: [57] .....	97

## Índex de Figures

Figura 1: Concentració de CO <sub>2</sub> a l'atmosfera. A l'esquerra la concentració amb ppm des de l'època industrial fins avui dia i a la dreta la concentració amb ppm d'anys més recents. Font: [1] .....	12
Figura 2: Evolució de les emissions de GEI a l'atmosfera a l'estat espanyol en el període 1990-2016. Font: [2] .....	13
Figura 3: Evolució de la temperatura mitjana anual per al conjunt de Catalunya i per al període 1950-2016. Els valors s'expressen com a anomalies respecte al període de referència 1961-1990. Font: [4]. .....	14
Figura 4: Tendència de la precipitació mitja anual a Catalunya (1950-2014) expressada en %/decenni. Font: [4]. .....	14
Figura 5: Evolució del nivell del mar en el Estartit (1990-2014). En vermell es dibuixa la mitjana mòbil de dotze mesos de període i en negre es mostra la tendència lineal experimentada. Font: [4]. .....	15
Figura 6: Registres de les temperatures de la Terra de diferents organitzacions. Font: [5]16	
Figura 7: Evolució del subministrament d'energia mundial per font d'energia primària, en megatonnes equivalents de petroli. Font: [11] .....	20
Figura 8: Evolució del subministrament d'energia primària a Espanya segons font, en megatonnes equivalents de petroli. Font: [11] .....	21
Figura 9: Proporció sobre el total del subministrament d'energia primària a Espanya per font. Font: [10] .....	21
Figura 10: Tipus d'energia segons la seva utilitat i pèrdues associades. Font: [13] .....	22
Figura 11: L'energia a l'estat espanyol: producció, energia total primària, energia total final per combustible i energia total final per sector. Font: [11] .....	22
Figura 12: Estructura sectorial del consum d'energia final per sectors i usos (2015). Font: [14] .....	23
Figura 13: Electricitat generada a Espanya per les diferents fonts. Font: [11] .....	24
Figura 14: Energia consumida a la UE-28 per sectors. Font: [16] .....	25
Figura 15: Estat de les definicions NZEB dels estats membres de la UE. Font: [20] .....	27
Figura 16: Localització dels campus arreu de Lleida i identificació dels edificis .....	33
Figura 17: Localització i orientació Campus de Cappont .....	37
Figura 18: Localització i orientació Campus del Rectorat .....	38
Figura 19: Localització i orientació Campus d'ETSEA .....	42
Figura 20: Localització i orientació campus Ciències de la Salut .....	45
Figura 21: Temperatura mitjana mensual de Lleida. Font: [41] .....	47
Figura 22: Precipitació mensual mitjana de Lleida. Font: [41] .....	48
Figura 23: Humitat relativa mitjana mensual i número mitjà mensual de dies de boira de Lleida. Font: [41] .....	48
Figura 24: Rosa dels vents de Lleida .Font: [42] .....	49
Figura 25: Irradiació mitjana mensual de Lleida. Font: Atles de radiació solar [41] .....	49
Figura 26: Estructura del consum energètic del sector serveis per rames, 2015. Font: [14] .....	51
Figura 27: Estructura del consum energètic final en les universitats per fonts, 2011. Font: [14] .....	53
Figura 28: Estructura del consum energètic en els edificis segons usos. Font: [44] .....	54
Figura 29: Ubicació de les estacions meteorològiques amb dades disponibles. ....	57
Figura 30: Evolució de la temperatura ambient per les diferents estacions avaluades.....	57

Figura 31: Diagrama de flux que descriu el procediment de càlcul per les dades mensuals de gas .....	60
Figura 32: Consum històric anual d'electricitat (3 anys) per cada edifici de la UdL .....	66
Figura 33: Consum històric anual de gas natural (8 anys) per cada edifici de la UdL .....	67
Figura 34: Consum històric de gas natural dels 4 campus normalitzat pel clima.....	68
Figura 35: Consum històric anual d'electricitat normalitzat per àrea (3 anys) per cada edifici de la UdL.....	69
Figura 36: Consum històric anual de gas natural normalitzat per àrea (8 anys) per cada edifici de la UdL .....	70
Figura 37: Consum energètic anual per superfície construïda en l'any 2017 pels 20 edificis de la UdL.....	71
Figura 38: Consum energètic anual per usuari en l'any 2017 pels 4 campus de la UdL .....	71
Figura 39: Producció històrica d'energia renovable, radiació solar i línies de regressió dels 2 parcs fotovoltaics amb plaques fotovoltaïques .....	72
Figura 40: Emissions de CO <sub>2</sub> a l'atmosfera l'any 2017 generades pel consum energètic de la UdL.....	73
Figura 41: Línies de rendiment de la calefacció per 2 edificis (E1 i E3) del Campus 1 amb valors extrems, basat en factures de gas mensuals durant 7 anys.....	74
Figura 42: Correlació entre (el valor estimat de UH, l'any de construcció dels edificis i el numero estimat d'usuaris) i les densitats de cada variable.....	77
Figura 43: Requisits de calefacció diaris per una casa en base a l'aïllament i els guanys interns. Font: [55].....	78
Figura 44: Comparació de les pendent de les línies de rendiments dels edificis i temperatures de base utilitzant la metodologia de graus-dia.....	79
Figura 45: Exemple de gràfic de consum mitjà elèctric horari al llarg de les 52 setmanes d'un any (2017) per l'edifici E8.....	81
Figura 46: Percentatge diari sobre el consum elèctric total setmanal per cada edifici en el període estudiat de 3 anys .....	82
Figura 47: Diagrama de barres i histograma dels valors estimats d'EER per cada edifici ..	85
Figura 48: Regressió lineal del model 4P utilitzat en l'edifici E8 per un període de dades de 3 anys.....	86
Figura 49: Diagrama quantil-quantil normal del model lineal 4P de l'edifici E8 .....	86
Figura 50: Residus tipificats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E8 .....	87
Figura 51: Arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E8.....	88
Figura 52: Gràfic de la distància de Cook pel model lineal 4P de l'edifici E8.....	88
Figura 53: Regressió lineal del model 5P utilitzat en l'edifici E2 per un període de dades de 3 anys.....	89
Figura 54: Diagrama quantil-quantil normal del model lineal 4P de l'edifici E2 .....	90
Figura 55: Residus tipificats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E2 .....	90
Figura 56: Arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E2.....	91
Figura 57: Gràfic de la distància de Cook pel model lineal 4P de l'edifici E2.....	92
Figura 58: Comparació de les pendent del model segmentat i temperatures de canvi per les dades elèctriques dels edificis de la UdL.....	93
Figura 59: Energia primària total per cada edifici i l'indar màxim estimat per la nova regulació espanyola .....	96

Figura 60: Energia primària total pels edificis E1-E18, i amb línies horitzontals, llindars màxims d'energia primària per diferents països de la UE amb definició oficial per NZEB..	97
Figura 61: Energia primària renovable i no renovable calculada per cada edifici .....	98
Figura 62: Percentatge d'energia primària renovable generada in-situ per cada edifici .....	99
Figura 63: Balanç global d'energia primària per cada edifici .....	99



***Digues-me ho i m'oblido. Ensenyeu-me i puc recordar-ho. Involucrí'm i apreng.***

***Benjamin Franklin (1706-1790)***

## Agraïments

Aquest projecte significa molt per a mi; no sols suposa un gran esforça acadèmic, sinó que també significa la fi d'una etapa. Per aquest motiu, voldria expressar la meva gratitud a totes les persones i institucions que amb la seva ajuda han fet que aquest treball fi de màster sigui possible.

A la meva família agrair-los tot el recolzament, comprensió i ajuda que m'han proporcionat al llarg d'aquests anys ja que si avui soc aquí, és gràcies a ells.

A la meva parella, Laura, agrair tot el suport que m'ha donat durant la meva trajectòria en la universitat, sense dubte, ha estat la peça clau per assolir els objectius que m'he anat marcant aquests últims anys.

Agrair l'Institut Politècnic d'Innovació i Recerca en Sostenibilitat (INSPIRES) de la Universitat de Lleida, per la beca de recerca que em va ser concedida i em va permetre realitzar aquest estudi.

També vull donar gràcies a l'Escola Politècnica Superior de Lleida (EPS) ja que ha estat la base i part fonamental dels meus estudis.

Finalment, agrair a totes les persones que van col·laborar en l'article: "*Assessing the nearly zero-energy Building gap in university campuses with a feature extraction methodology applied to a case study in Spain*", especialment al Dr. Marc Medrano, tutor d'aquest treball. Gràcies per la teva ajuda incondicional, implicació, consells, temps dedicat, confiança i proximitat que sempre m'has mostrat.

Com es diu habitualment, granet a granet es fa una muntanya, i sense tots els granets que han anat deixant la gent que a col·laborat en aquest projecte, no hagués estat possible.

Gràcies.

## Resum

El context energètic en Europa i en Espanya insta a proposar i planificar nous plans d'actuació i polítiques energètiques que passen per un desenvolupament sostenible i eficient de la societat. Diversos problemes com la dependència energètica, la contaminació i especialment, el canvi climàtic, on els últims anys s'ha fet més evident, requereixen del desenvolupament conjunt de polítiques energètiques a nivell internacional.

Les universitats públiques tenen un rol important davant el paradigma energètic actual, ja que són un important agent dinamitzador de la societat i formadores de professionals que en un futur tindran poder de decisió sobre moltes de les accions que es necessitaran emprendre per a solucionar els problemes generats en el model de consum energètic actual. Un dels reptes al que s'enfronten és el d'adaptar els edificis actuals en edificis de balanç energètic gairebé zero (NZEB).

En aquest treball es presenta una metodologia nova per avaluar el consum històric d'energia i producció d'energia renovable per a tots els edificis de la Universitat de Lleida (UdL) que inclouen avaluacions de dades horàries, diàries i mensuals.

Aquest anàlisi és útil serveix com a línia base per a futurs treballs, el qual permet determinar la bretxa actual entre els indicadors d'energia a nivell d'edifici i campus amb els límits establerts per als edificis no residencials NZEB a la Unió Europea.

Els resultats mostren una gran variació en el consum energètic dels edificis del campus, que oscil·len entre els 60 i els 450 kWh/m<sup>2</sup>. S'observa un ús constant i lleugerament creixent de l'energia, i tendències decreixents en la generació d'energia renovable. Els perfils diaris d'electricitat han mostrat patrons similars entre edificis i s'observen estalvis energètics potencials durant períodes sense ocupació. En l'anàlisi NZEB, l'ús d'energia primària no renovable mitjà és aproximadament 4 vegades superior al rang límit màxim espanyol estimat de 45-55 kWh/m<sup>2</sup>.

Per tant, són necessàries estratègies de renovació energètica profunda perquè la universitat de Lleida compleixi amb els objectius de la UE NZEB.

**Paraules clau:** Desenvolupament sostenible, anàlisi energètic, canvi climàtic, Edificis de balanç energètic gairebé zero (NZEB), edificis universitaris, energia renovable, estratègies de renovació energètica.

# 1. Introducció

## 1.1 Causes i efectes del canvi climàtic

A mesura que va avançant el temps, cada dia es fa més notable i evident un canvi climàtic en el nostre planeta provocat principalment per l'activitat humana. La Comunitat Internacional reconeix aquest fet com un dels majors reptes globals per a la humanitat, i ja fa temps que s'estan fent esforços a diferents nivells per frenar noves emissions a l'atmosfera.

La situació actual constata que hi ha un increment continuat de concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera des de l'època industrial. Des de que es tenen dades amb certesa, concretament l'any 1958 a l'observatori de Mauna Loa (Hawaii) un dels observatoris més importants en l'àmbit de recerca de dades climatològiques, la concentració era de 315 ppm i tal i com es pot observar en la Figura 1 actualment és de 407 ppm. Per tant s'esdevé important actuar en la reducció d'aquestes emissions i per això s'han establert plans d'actuació tant en àmbit mundial, europeu i local.

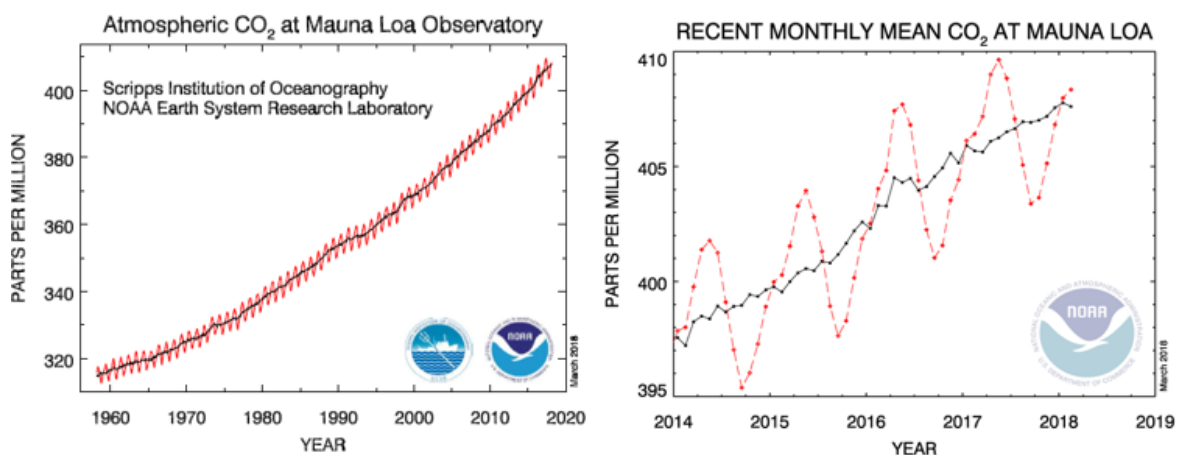


Figura 1: Concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera. A l'esquerra la concentració amb ppm des de l'època industrial fins avui dia i a la dreta la concentració amb ppm d'anys més recents. Font: [1]

A nivell estatal les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'any 2016 es van reduir en un 3,5 % respecte el 2015, principalment degut a la reducció de la crema de carbó en les centrals tèrmiques per generar electricitat. El nivell d'emissions global es situa en un +13% respecte al 1990 i un -26% respecte al 2005, situant-se aquest al 2016 en 323,8 milions de tones de CO<sub>2</sub>-eq (Figura 2).

El sector amb més pes pel que fa a les emissions de gasos d'efecte hivernacle és l'energètic amb un 75%, seguit de l'agricultura amb un 11%. Pels gasos, el CO<sub>2</sub> suposa un 80% de les emissions totals seguit del metà amb un 12% [2].

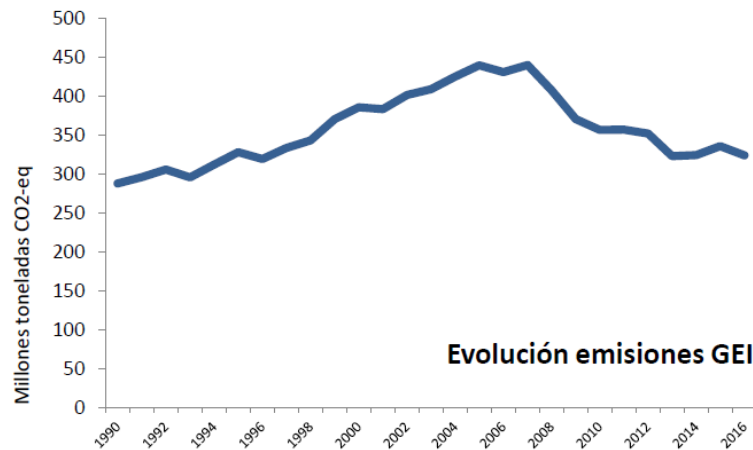


Figura 2: Evolució de les emissions de GEI a l'atmosfera a l'estat espanyol en el període 1990-2016. Font: [2]

L'escalfament global és una realitat, els sistemes naturals o físics s'ha encarregat de manifestar que existeix un desequilibri ambiental provocat per un alt nivell de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera degut a que les emissions produïdes pels combustibles fòssils, utilitzats per satisfer la demanda creixent d'energia, porten a un canvi climàtic del planeta que actualment ja està tenint conseqüències d'un escalfament global. Al llarg dels últims anys s'han pogut observar aquests impactes, i les seves conseqüències poden ser nefastes si no es duen a terme mesures (pujada del nivell del mar, inundacions de comunitats costeres, extinció d'espècies, etc...) [3].

Concretament, els efectes del canvi climàtic han començat a notar-se a Catalunya. No és fàcil discernir si les variacions que experimenta el clima són atribuïbles a les causes comentades anteriorment, però a pesar de les incerteses el conjunt de dades disponibles indica que el clima ja està variant i que ho fa en la direcció que preveuen els models climàtics.

Entre l'any 1950 i l'any 2016 la temperatura de l'aire ha augmentat per terme mig, +0,24 °C/decenni (Figura 3). Aquesta variació no és uniforme al llarg de l'any; en l'estiu l'increment de la temperatura mitjana té una tendència més marcada de +0,35 °C/decenni. En quant a la temperatura mitjana màxima anual també s'observa un augment de +0,28 °C/decenni. La temperatura mitjana mínima anual també evoluciona a l'alça però menys que la màxima: +0,17 °C/decenni.

D'igual manera i amb la mateixa tendència, també es fa notori un escalfament de l'aigua del mar, el qual pot tenir conseqüències importants per la vida marina i per la capacitat del mar en dissoldre el CO<sub>2</sub>, de fet un aigua més calenta tindrà menys capacitat de capturar carboni de l'atmosfera. Es tracta d'un problema que es pot fer extensiu a tots els mars i oceans del planeta.

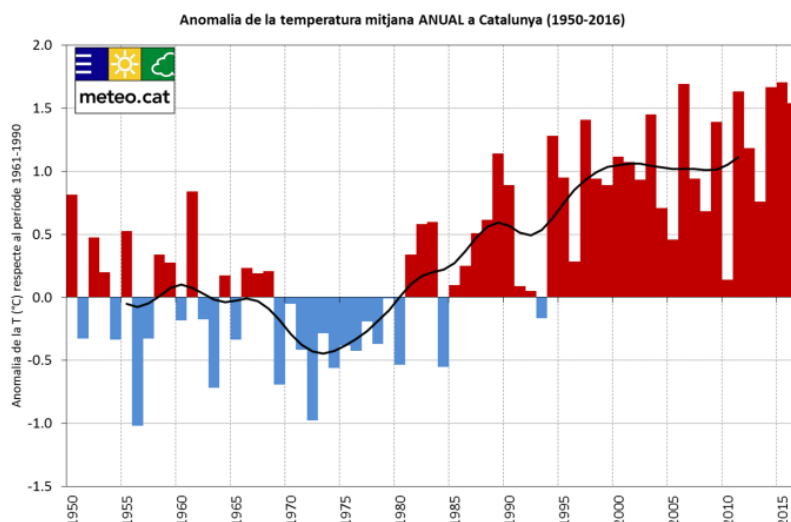


Figura 3: Evolució de la temperatura mitjana anual per al conjunt de Catalunya i per al període 1950-2016. Els valors s'expressen com a anomalies respecte al període de referència 1961-1990. Font: [4].

El canvi climàtic no sol afecta a la temperatura en el conjunt de Catalunya; segons els estudis un dels efectes més marcats del canvi climàtic serà una reducció de la disponibilitat de l'aigua. En el futur aquesta escassetat de recursos hídrics serà comú a tot el país, tot i que la heterogeneïtat del territori delimitarà diferents nivells de vulnerabilitat. A partir d'un balanç hídric basat en les dades de les projeccions climàtiques i els usos del sòl en cada conca hidrogràfica, s'ha calculat que la disponibilitat de l'aigua descendirà un 11% en el 2021 i un 17,8 % en el 2051 [4].

Concretament pel que fa a precipitacions al conjunt del país, la tendència anual és lleugerament negativa (-1,2 %/decenni). Si s'estudien les variacions territorialment (Figura 4) el Pirineu i el Prepirineu són les àrees on ha disminuït més clarament, amb uns valors situats entre -2,4%/decenni i -3,9%/decenni.

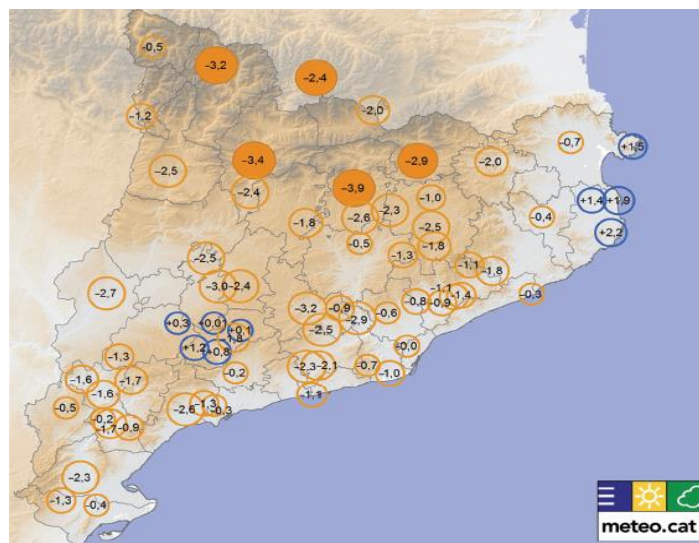
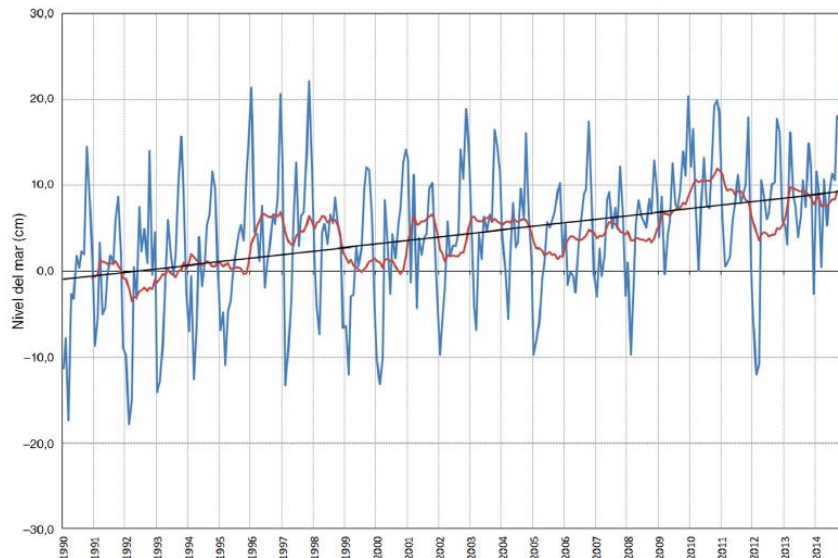


Figura 4: Tendència de la precipitació mitja anual a Catalunya (1950-2014) expressada en %/decenni. Font: [4].

Aquestes dades sí que són significatives i permeten afirmar que des de 1950 plou menys en aquestes zones.

Un altre fet que fa notori el canvi climàtic és la pujada del nivell del mar, on la taxa d'elevació del nivell del mar ha estat de +2,00 mm/any en el període 1971-2010 i que ha augmentat fins a un +3,2mm/any entre 1993 i 2010 tal i com s'observa en la Figura 5.



*Figura 5: Evolució del nivell del mar en el Estartit (1990-2014). En vermell es dibuixa la mitjana mòbil de dotze mesos de període i en negre es mostra la tendència lineal experimentada. Font: [4].*

Aquesta variació del nivell del mar afectarà als sistemes costers com les platges i els ports, tenint impacte en termes d'erosió i inundació marina.

Altres efectes derivats del canvi climàtic es poden observar com a extrems climàtics, inundacions i sequeres. De fet, els darrers anys s'ha detectat un augment d'episodis en estiu on les pluges són torrencials, tot i que encara no hi ha evidències suficients. En canvi sí que hi ha més evidència en el cas de les sequeres. El fet de la disminució de reserves d'aigua i períodes càlids sense pluges més llargs en el temps, fan que s'esdevingui un estat de sequera. Degut a això tota la vegetació esdevé més vulnerable i per exemple, en els sistemes forestals com els boscos, hi ha més probabilitat d'originar-se incendis.

Aquests fenòmens tenen un origen antropogènic. Mitjançant models climàtics s'ha determinat (amb una probabilitat superior al 95%), que més de la meitat del augment de la temperatura superficial mitja global en el període 1951-2010 ha estat degut a la influència de l'ésser humà en el medi ambient.

En la Figura 6, pot observar-se com els resultats de diferents organitzacions revelen valors similars en les mesures de temperatura del planeta. Dels diferents estudis publicats sobre el canvi climàtic en revistes científiques, el 97% coincideix en la responsabilitat de les

activitats humanes en l'origen del problema. El progrés econòmic i demogràfic a partir de la revolució industrial té com a conseqüència que les emissions antropogèniques de gasos d'efecte hivernacle siguin més grans que mai. En l'actualitat, governs i les principals institucions científiques, donen per fet la responsabilitat antropogènica.

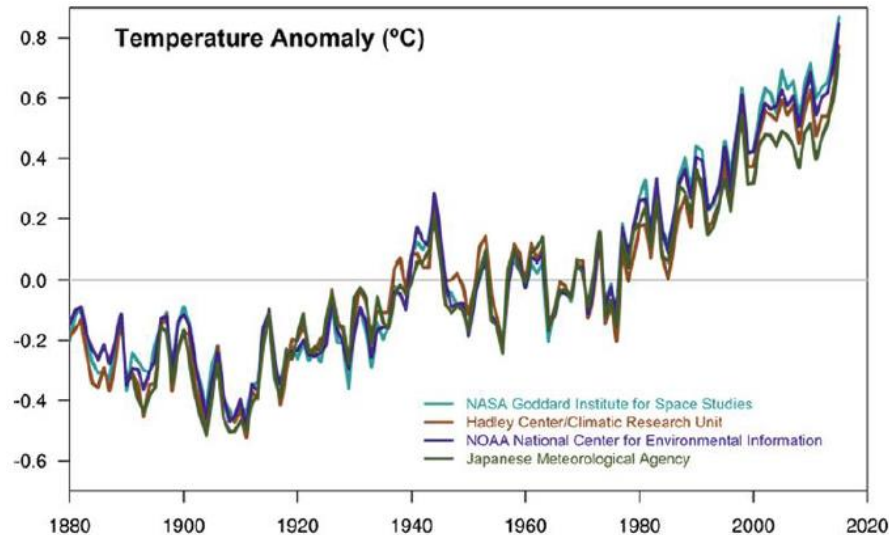


Figura 6: Registres de les temperatures de la Terra de diferents organitzacions. Font: [5]

Concretament en (Cook et al., 2013) [6] s'analitza l'evolució del consens sobre l'origen antropogènic del canvi climàtic sobre 11.944 articles publicats entre els anys 1991 i 2011. Entre aquests articles, el 97,1% coincideix en l'origen del fenomen i en una versió més actualitzada (Cook et al., 2016) [7] es torna a confirmar el resultat obtingut anteriorment. Per tant, una majoria absoluta mostra de forma inequívoca que l'ésser humà és el que ha causat el canvi climàtic.

Davant d'aquesta situació és necessari adoptar solucions que permetin mitigar l'estat actual. Una alfabetització climàtica de la societat i l'actuació dels òrgans de govern ho han de fer possible.

## 1.2 Acords i solucions

Entre les solucions plantejades en ordre de mitigar i inclús erradicar els efectes del canvi climàtic i escalfament global, destaquen els propis objectius de l'Organització de les Nacions Unides, que dins dels seus objectius de desenvolupament sostenible, inclou adoptar mesures urgents per a combatre el canvi climàtic i els seus efectes (Nacions Unides 2017) [8].

Les principals metes a assolir són les següents:



- Enfortir la resiliència i la capacitat d'adaptació als riscos relacionats amb el clima i els desastres naturals en tots els països.
- Incorporar mesures relatives al canvi climàtic en les polítiques, estratègies i plans nacionals.
- Millorar l'educació, la sensibilització i la capacitat humana i institucional en relació amb la mitigació del canvi climàtic, l'adaptació a aquest, la reducció dels seus efectes i l'alerta precoç.
- Posar en pràctica el compromís contret pels països desenvolupats que són part en la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, amb l'objectiu de mobilitzar conjuntament 100.000 milions de dòlars anuals per l'any 2020, procedents de totes les fonts, a fi d'atendre les necessitats dels països en desenvolupament en el context d'una tasca significativa de mitigació i d'una aplicació transparent, i posar en ple funcionament el Fons Verd per al Clima capitalitzant-lo el més abans possible.
- Promoure mecanismes per augmentar la capacitat de planificació i gestió eficaços en relació amb el canvi climàtic en els països menys desenvolupats i els petits estats insulars en desenvolupament, centrant-se en particular en les dones, joves i comunitats locals i marginades.

Per complir aquests objectius es promouen iniciatives com el conegut protocol de Kyoto dins del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (Espanya 2005) [9] o més recentment l'Acord de París.

L'Acord de París és només l'última fita d'una cadena més gran en la lluita contra el canvi climàtic que es va iniciar en l'any 1992 amb el Conveni Marc del Canvi Climàtic de les Nacions Unides. És un acord modificable que involucra 195 països organitzats en dos divisions, sobre les que es marquen objectius a complir sobre la limitació d'emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Per actualitzar aquest acord es convoquen periòdicament Conferències de les Parts (COP) en les que es determina l'abast de les mesures, regulacions i el funcionament dels acords. La COP 3 va ser celebrada a Kyoto, Japó, i va ser en la qual es va firmar el famós protocol. La COP 21 es va celebrar a París en 2015 i ha resultat en el primer acord universal en la lluita contra el canvi climàtic.

És un avanç molt positiu en la lluita contra el canvi climàtic, però és un acord amb ombres. Per exemple, parts de l'acord de París no són jurídicament vinculants, entre aquestes els

objectius nacionals de reducció d'emissions, en gran mesura degut als impediments plantejats per Estats Units, Xina i Índia.

El principal objectiu d'aquest acord és mantenir la temperatura global mitjana del planeta per davall d'un increment de 2°C respecte als nivells preindustrials, vinculat a uns nivells de concentració de 450 ppm de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera.

Si bé l'acord té limitacions com s'ha indicat, en la seva forma final és legalment vinculant i garanteix el seu compliment mitjançant el mecanisme de revisió dels compromisos de cada país, amb revisions periòdiques cada 5 anys.

De igual manera la Unió Europea insta als seus estats membres a reduir abans del 2020, un 20% els gasos d'efecte hivernacle per davall dels nivells de 1990, un 30% a l'any 2030 i un 85% l'any 2050. També insta a augmentar un 20% l'explotació de les energies renovables i a adoptar mesures d'estalvi energètic d'un 20% respecte als nivells de consum actual.

Ja en un àmbit més local, l'Ajuntament de Lleida va signar l'any 2009 el Pacte d'Alcaldes, una iniciativa de la Unió Europea per a dinamitzar actuacions que permetin una reducció efectiva d'emissions dels gasos d'efecte hivernacle (GEH) a nivell local i regional. Concretament la signatura implica el compromís formal del municipi de reduir almenys un 20% les seves emissions l'any 2020 respecte les que va emetre l'any 1995, mitjançant la elaboració, execució i seguiment d'un Pla (PAES).

Aquest compromís és compartit amb la resta de municipis europeus signants del Pacte d'Alcaldes (més de 5000) per contribuir conjuntament a la mitigació del canvi climàtic. El document (Pla d'Acció per a l'Energia Sostenible de Lleida) recull un conjunt de 43 mesures, el desplegament de les quals permetran assolir l'objectiu de disminució d'almenys un 22% les emissions [10]. Tenint en compte que la majoria d'aquestes provenen de sectors difosos, com el domèstic, el del transport i el de serveis, bona part de les propostes contemplen mecanismes indirectes, orquestrats des de l'administració local.

L'objectiu final és aconseguir que les emissions de gasos d'efecte hivernacle toquin sostre, és a dir, que arribin al seu màxim quan abans millor, aconseguint que de cara a la segona meitat de segle s'arribi a un equilibri entre els gasos emesos i els que poden ser absorbits. De fet, es seguiran emetent gasos d'efecte hivernacle, però aquests seran absorbits per mitjans naturals com la vegetació i mitjançant tècniques artificials com l'emmagatzematge geològic.

Un cop definits els acords i les solucions que s'han d'adoptar, es procedeix a analitzar la situació energètica actual per avaluar l'estat d'aquesta a nivell mundial i local.

### 1.3 Situació energètica

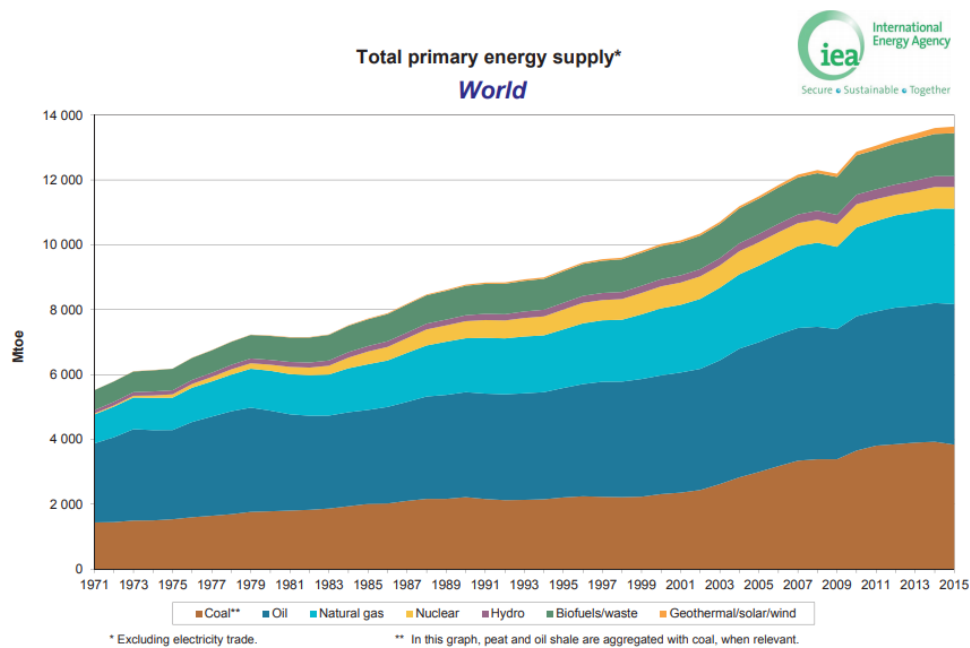
El consum mundial d'energia ha augmentat a un ritme molt elevat els últims dos segles, degut en gran part a la revolució industrial començada a finals del segle XVIII. Aquesta revolució va generar un gran desenvolupament socioeconòmic i tecnològic, del qual en va derivar un ús exponencial de l'energia fins avui dia. Amb l'excepció d'algunes crisis productives, comercials o financeres que han tingut un impacte menor, el consum energètic per càpita no ha parat d'augmentar, i no es preveu que deixi de fer-ho en el futur proper. El creixement de la població mundial mostra un comportament similar, amb un increment notable any rere any.

En l'apartat 1.1 ha quedat exposada la relació entre la concentració de diòxid de carboni (més la d'altres gasos d'efecte hivernacle en l'atmosfera) i l'escalfament global. De forma indubtable, l'ús d'energies derivades de material fòssil incrementa les concentracions de CO<sub>2</sub>, essent necessària una reducció del seu ús dins del mix energètic mundial.

Acudint a dades recents subministrades per l'Agència Internacional de l'Energia (International Energy Agency, 2017) es constata que el consum d'energia a nivell mundial ha augmentat de forma considerable, superant-se el doble dels valors de consum previs a la crisi del petroli de 1973 [11].

Resulta difícil quantificar com afecta al consum d'energia l'actual crisis econòmica, si bé el creixement en els últims 25 anys del consum energètic mundial és una realitat. Com a principal dada es pot extreure que en el 2016 es va assolir com a rècord que el 3,2% del consum mundial d'energia es va produir a partir de fonts primàries renovables (British Petroleum, 2017) [12].

Es pot observar en la Figura 7 com a pesar de l'augment de producció energètica de renovables, especialment en tecnologia geotèrmica, solar i eòlica, el predomini de la producció mundial correspon a l'energia d'origen fòssil, destacant l'especial increment en la producció a partir de carbó i gas natural.



*Figura 7: Evolució del subministrament d'energia mundial per font d'energia primària, en megatonnes equivalents de petroli. Font: [11]*

El consum de petroli i els seus derivats, tot i que no ha experimentat un augment tan espectacular com el del carbó o el del gas natural, continua augmentant. Tan sols s'aprecia un petit descens en el seu consum amb l'aparició de la crisi econòmica, essent ràpidament superat.

En el cas d'Espanya, com s'observa en la Figura 8, s'ha produït un important descens en el subministrament total d'energia primària, en gran mesura, degut a la crisi econòmica que va començar l'any 2008 i també en part a l'aplicació cada cop més gran de mesures d'eficiència energètica.

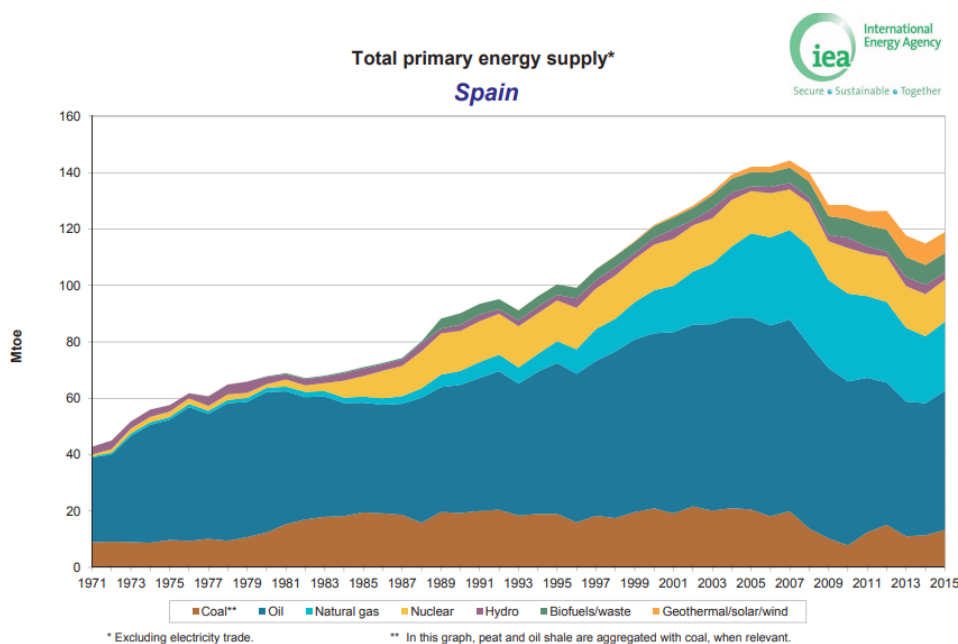


Figura 8: Evolució del subministrament d'energia primària a Espanya segons font, en megatonnes equivalents de petroli. Font: [11]

A pesar del descens en el subministrament total d'energia primària en Espanya, i descartant les dades del comerç elèctric, es constata que la proporció sobre el total del subministrament d'energia primària es troba encara dominat pels combustibles fòssils. Amb dades de l'any 2015, es té que el subministrament d'energia primària a l'estat espanyol va ser de 119 Mtoe, destacant que el 14,2% provenia de fonts renovables. La proporció per font és la que es mostra en la Figura 9.

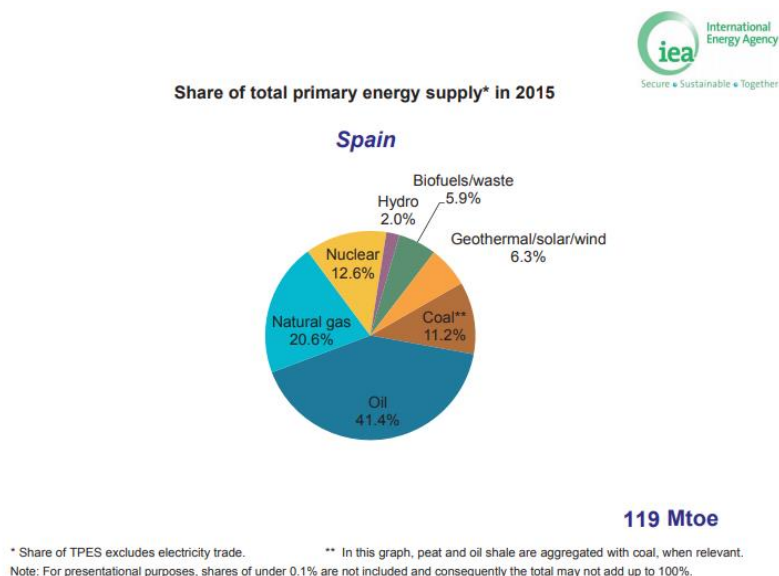


Figura 9: Proporció sobre el total del subministrament d'energia primària a Espanya per font. Font: [10]

Aclarir que per energia primària s'entén com l'energia subministrada procedent de fonts renovables i no renovables, que no han sofert cap procés previ de conversió o transformació. És l'energia continguda en els combustibles i altres fonts d'energia, i inclou

l'energia per generar l'energia final consumida, incloent les pèrdues en el seu transport fins el punt de consum, emmagatzemament, etc...



Figura 10: Tipus d'energia segons la seva utilitat i pèrdues associades. Font: [13]

Observant la Figura 10, l'energia final és aquella que s'utilitza en els punts de consum. És la que comprèn els consumidors en forma d'electricitat, carburants o altres combustibles utilitzats de forma directa.

Per tant, tenint en compte aquests conceptes, la situació energètica a l'estat espanyol i d'acord amb les dades, és la que es mostra en la Figura 11 (International Energy Agency 2017).

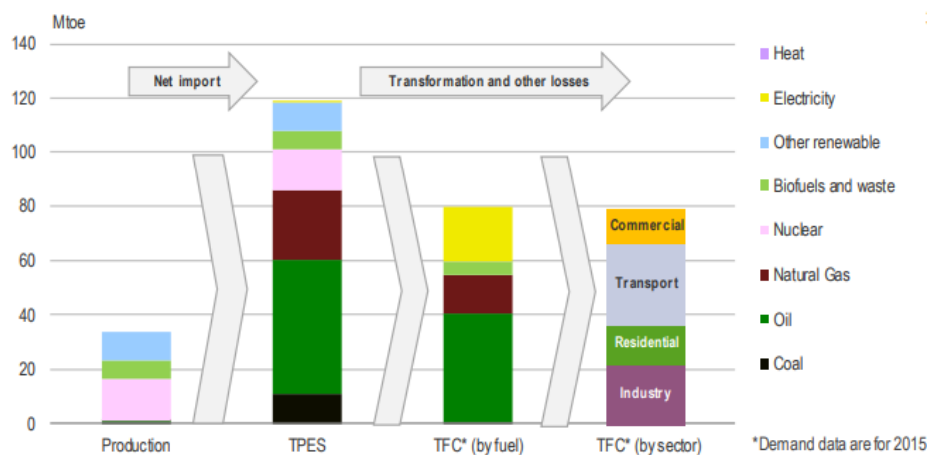


Figura 11: L'energia a l'estat espanyol: producció, energia total primària, energia total final per combustible i energia total final per sector. Font: [11]

El consum d'energia final a l'estat espanyol l'any 2015 va ser de 80,5 Mtoe, sent el petroli amb un 50,1%, la font predominant. Pel que fa a consum per sectors, s'observa en la Figura 12 que el predominant és el sector del transport (41,6 %), seguit del industrial (23,5 %), el residencial (18,6 %), serveis (12,5 %) i finalment agricultura, pesca i d'altres (3,8 %). També es pot observar la baixa producció d'energia a l'estat espanyol, el qual significa que gran part de l'energia primària és importada d'altres països.

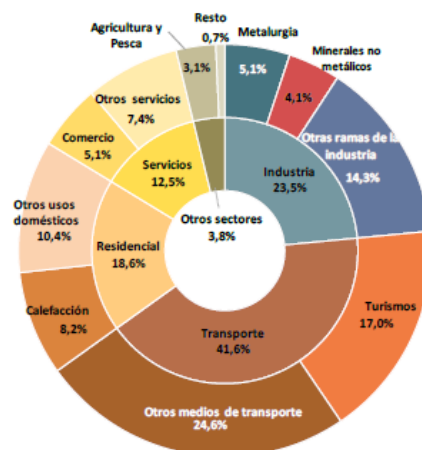


Figura 12: Estructura sectorial del consum d'energia final per sectors i usos (2015). Font: [14]

En la Figura 11 es mostra el consum total d'energia primària (TPES) i el consum total d'energia final (TFC). Per entendre la relació entre aquests dos tipus d'energia i el que s'hi troba pel mig, s'han de conèixer els factors de conversió corresponents.

Concretament, els factors de conversió d'energia final a primària a Espanya, tenint en compte les pèrdues per transformació, transport i distribució són els que es troben en la Taula 1 (MINETAD 2016).

	kWh E. Primària renovable / kWh E. Final	kWh E. Primària no renovable / kWh E. Final	kWh E. Primària total / kWh E. Final
<b>Electricitat peninsular</b>	0,414	1,954	2,368
<b>Electricitat extrapeninsular</b>	0,075	2,937	3,001
<b>Gasoil calefacció</b>	0,003	1,179	1,182
<b>GLP</b>	0,003	1,201	1,204
<b>Gas natural</b>	0,005	1,190	1,195
<b>Carbó</b>	0,002	1,082	1,084
<b>Biomassa no densificada</b>	1,003	0,034	1,037
<b>Biomassa densificada (pèl·let)</b>	1,028	0,085	1,113

Taula 1: Factors de conversió d'energia final a primària. Font: [15]

Amb el propòsit que aquests factors siguin estables, depenent únicament de l'estructura de generació i no de les condicions climàtiques de l'any elèctric, s'estableix per a l'energia final elèctrica un valor mig en un període plurianual de 7 anys.

Existeixen uns altres factors que depenen de l'energia final i que són d'utilitat en aquest projecte; aquests són els que relacionen les emissions de CO<sub>2</sub> amb els kWh d'energia final consumits. En la Taula 2 es mostren els factors utilitzats a Espanya (MINETAD 2016).

	kg CO <sub>2</sub> / kWh E. Final
<b>Electricitat peninsular</b>	0,331
<b>Electricitat extrapeninsular</b>	0,833
<b>Gasoil calefacció</b>	0,311
<b>GLP</b>	0,254
<b>Gas natural</b>	0,252
<b>Carbó</b>	0,472
<b>Biomassa no densificada</b>	0,018
<b>Biomassa densificada (pèl·let)</b>	0,018

Taula 2: Factors de conversió d'energia final a emissions de CO<sub>2</sub>. Font: [15]

Fent un cop d'ull a les renovables, com s'ha comentat al llarg d'aquest apartat, tenen una importància reduïda en el mix energètic. No obstant, existeix una tendència ascendent en el seu ús, i les diferents polítiques i mesures que prenen els països intenten incrementar el percentatge d'energia que es produeix i es consumeix que provingui de fonts renovables.

Amb dades de l'any 2015, en generació elèctrica a Espanya, el 39 % va provenir de fonts renovables (Veure Figura 13), superant la mitjana de la resta de països analitzats (24 %) segons la Internacional Energy Agency.

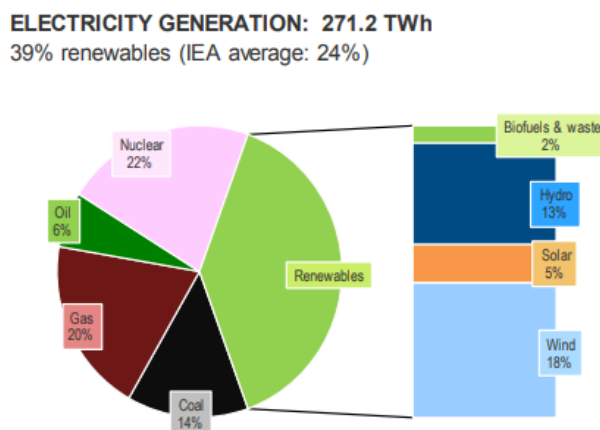


Figura 13: Electricitat generada a Espanya per les diferents fonts. Font: [11]

Tot i que la transició a fonts d'energia renovables mitigarien aquest i altres problemes dels combustibles fòssils i nuclears, ara per ara s'està molt lluny d'assolir-la.

Així doncs, les opcions per tal de mitigar els efectes del canvi climàtic passen per una reducció de l'ús d'energia, una menor dependència energètica i una major producció d'energia renovable. En definitiva es necessita una transició cap a models energètics més eficients.



## 1.4 Edificis NZEB

El sector dels edificis és el principal col·laborador pel que fa al ús total d'energia en la Unió Europea amb un 38,1% (Eurostat 2014), i representa el 34% de les emissions de CO<sub>2</sub> associades a aquesta energia consumida.

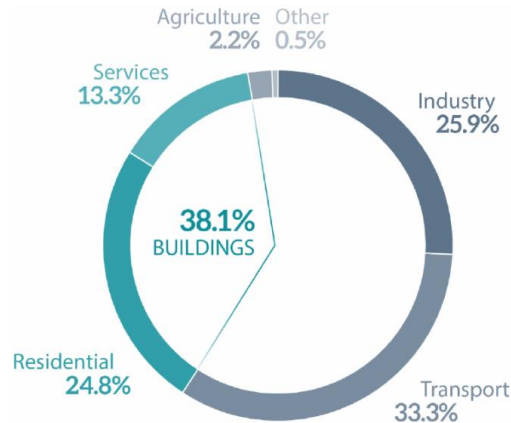


Figura 14: Energia consumida a la UE-28 per sectors. Font: [16]

En canvi en Espanya a diferència del global de la Unió Europea, l'ús total en el sector dels edificis representa el 31,1% (18,6% Residencial i 12,5% Serveis) tal i com s'ha vist en la Figura 12.

En ordre de mitigar la problemàtica energètica descrita anteriorment, des de diferents organismes oficials s'han impulsat iniciatives per reduir el consum d'energia en els edificis millorant el seu acompliment energètic.

Diverses normatives han sorgit durant els últims 40 anys a Espanya amb l'objectiu de reduir el consum energètic en edificis.

En els anys 70 del passat segle a Espanya, van sorgir les NBE (Normes Bàsiques de l'Edificació) d'obligat compliment i les NTE (Normes Tecnològiques de l'Edificació) complementàries a les anteriors i d'aplicació voluntària. Entre elles, i en relació amb el comportament energètic dels edificis, va sorgir la NBE-CT-79 o Norma Bàsica de l'Edificació sobre Condicions Tèrmiques en els edificis (Espanya, 1979). La NBE-CT-79, sorgida en una conjuntura marcada per les crisis energètiques de l'època, va suposar la primera exigència d'un valor d'aïllament mínim en els edificis i, tot i que omet altres conceptes com la inèrcia tèrmica o la protecció solar en buits, va significar un important avanç en ser una normativa pionera a Espanya sobre l'eficiència energètica en edificis.

Ja en la dècada dels 80 es va publicar el RICCA (Reglament d'Instal·lacions de Calefacció, Climatització i ACS). Reconeixent la importància del consum energètic de les instal·lacions tèrmiques no industrials, apostava per regular-les introduint l'obligatorietat d'incorporar

en els aparells generadors una "etiqueta d'identificació energètica" exigint valors mínims de rendiment en les instal·lacions.

Una vegada que Espanya va ingressar a la Comunitat Econòmica Europea i a partir de l'aparició del programa SAVE i de la Directiva 93/76/CEE, es van incorporar noves exigències relatives a les emissions de gasos d'efecte hivernacle i va ser introduït el concepte de la certificació energètica en habitatges com a mitjà per fomentar la construcció d'edificis residencials eficients i informar al ciutadà (Europa, 1993).

El 1998 va ser publicat el RITE o Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis en substitució del RICCA en què es basava, encara que avançant en la política d'ús racional de l'energia en consonància amb els objectius energètics i mediambientals de la Unió Europea.

En el 2002, la Directiva d'eficiència energètica d'edificis (Directiva 2002/91 / CEE, o EPBD per les sigles en anglès (Energy Performance of Buildings Directive)) va fomentar l'eficiència en els edificis europeus considerant les condicions climàtiques exteriors, les singularitats de cada territori, les exigències de confort interiors i la relació entre cost i eficàcia de les mesures a implementar. L'objectiu era fomentar la construcció d'edificis més eficients i impulsar la rehabilitació dels edificis existents per reduir el seu consum energètic.

Ja més endavant, la legislació europea (Directiva 2010/31/UE relativa a l'eficiència energètica dels edificis, EPBD) ha establert objectius ambiciosos per aconseguir actuacions d'alt rendiment energètic, amb l'objectiu que les noves edificacions aconseguixin la distinció d'edifici de consum gairebé nul (NZEB) per al final de 2020 [16, 17].

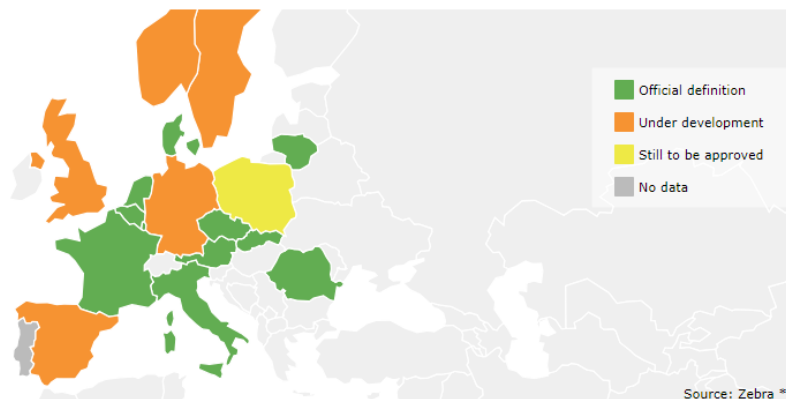
A grans trets, els edificis de balanç energètic nul o casi nul (NZEB), són edificis d'alta eficiència que cobreixen la major part del seu consum amb energia provinent de fonts renovables. És a dir, són edificis que compten amb una sèrie de mesures d'eficiència energètica que els permet reduir el seu consum total d'energia (de diversa procedència i amb diversos usos) a valors molt petits, i que a damunt, cobreixen la major part del consum restant mitjançant fonts d'energia renovable, reduint així notablement les emissions de gasos d'efecte hivernacle, i en general, el consum d'energia primària.

Segons la legislació a partir del 31/12/2020 tots els edificis nous seran NZEB (després del 31/12/2018 pels edificis públics). Per tant, els estats membres elaboraran plans nacionals per augmentar el nombre de NZEB i desenvolupar polítiques i mesures per estimular la transformació d'edificis que es renovin en NZEB. Entre d'altres el pla nacional inclourà:

- Una aplicació detallada en la pràctica de la definició d'edificis d'energia casi nul·la, inclòs un indicador numèric d'ús d'energia primària expressat en kWh/m<sup>2</sup>·any.

- Objectius intermedis per millorar el rendiment energètic dels edificis nous per 2015.
- Informació sobre les polítiques i mesures financeres o d'altres tipus per la promoció dels NZEB.

Segons l'informe de CA EPBD (2015), al voltant del 40% dels estats membres encara no compten amb una definició detallada del NZEB establert (Veure Figura 15). Al voltant del 60% d'aquests estats han establert una definició detallada de NZEB en un document legal, però alguns d'ells emfatitzen l'estat del l'esborrany de la definició, o que la definició podria actualitzar-se més endavant [19].



*Figura 15: Estat de les definicions NZEB dels estats membres de la UE. Font: [20]*

Recentment s'han adoptat iniciatives similars en algunes de les regions més desenvolupades i conscients del món, com ara el Net-Zero Energy Commercial Building Initiative als EUA, per al 2030 [21]; el pla d'acció California Public Utilities Commission Energy per aconseguir el balanç d'energia neta zero per a totes les noves construccions residencials el 2020 i el mateix per a totes les noves construccions del sector serveis per al 2030 [22], o altres accions publicades a Canadà i Japó [23].

Un acord internacional per definir i avaluar el rendiment de NZEB és difícil, tal i com es comenta en [24]. En aquest context, l'EPBD ha establert una definició ampla per NZEB, és a dir, "un edifici que té un rendiment energètic molt alt. Els requisits per a gairebé zero o molt baixa energia han de ser coberts en gran mesura per energia procedent de fonts renovables, incloses les produïdes in situ o properes". En realitat, la majoria dels estats membres de la UE no han establert, a partir del 2017, una definició que comprèn tant un objectiu numèric com a quota de fonts d'energia renovables [25]. Com a exemple d'un estat membre que ha pogut donar dades detallades per l'ampli marc de definició de la UE NZEB, Dinamarca ha establert un límit de consum d'energia primària per als edificis no residencials. Aquests seran inferiors a 25 kWh/m<sup>2</sup> per l'any 2021 [26]. Espanya encara no ha establert aquest

límit, però sí ja està en marxa un projecte de document per al nou Codi Tècnic de l'Edificació [27], on les bases per la determinació d'aquest límit es comenten.

Tot i els objectius energètics ambiciosos per als nous edificis, el gran potencial per a la conservació de l'energia provindria dels edificis existents, que es caracteritzen per una mitjana d'edat d'uns 55 anys [28]. No obstant això, les directives europees en aquest sentit no són tant ambiciosos com el re-disseny com la Directiva d'Eficiència Energètica de l'Edificació (EPBD). Entre altres mesures, EPBD exigeix als estats membres garantir que a partir de gener del 2014, només el 3% de la superfície total d'edificis escalfats i/o refrigerats en propietat i ocupats per el seu govern central es renova cada any [28]. Alguns projectes recents demostren els esforços realitzats per optimitzar l'ús de l'energia a través de la renovació d'edificis no residencials existents [28],[30]; per avaluar les estratègies de renovació de l'edifici combinant el consum d'energia mesurat amb els sistemes geogràfics d'informació (SIG) [31]; i millorar el disseny de nous edificis d'oficines de baix consum [32].

Els edificis universitaris no són una excepció, i en general són molt lluny dels requisits NZEB. Aquestes juguen un paper exemplar en les societats modernes; haurien de ser emprenedores en quant a l'anàlisi de l'eficiència energètica i proposar l'adaptació de mesures en els seus propis edificis, orientats a NZEB, com a mínim objectius a mig termini. Així doncs, aquestes accions haurien de tenir un paper important en un objectiu més ampli per a la sostenibilitat dels campus universitaris [33]. Finalment, alguns estudis recents sobre avaluacions energètiques i auditories han treballat en aquesta direcció [34], [35], [36], [37], [38], [39].

## 2. Objectius i Abast

Els objectius concrets del present treball final de màster deriven de la consecució d'un objectiu general més ambiciós: proposar una nova metodologia per avaluar els històrics de consum d'energia i el rendiment de l'autogeneració de renovables en edificis universitaris, i després aplicar-ho a un estudi de cas per a tots els edificis d'una universitat mitjana de Catalunya, la Universitat de Lleida.

La consecució d'aquest objectiu requereix del compliment d'una sèrie d'objectius més específics que es desglossen a continuació:

- Realitzar una anàlisi de les dades de consum energètic, tant de gas com d'electricitat, de tots els edificis de la Universitat de Lleida. Contindrà dades operatives, impacte de les condicions climàtiques sobre l'ús energètic, i també l'anàlisi de dades d'energia horàries detectant "*outliers*" i possibles ineficiències del sistema energètic. Aquesta anàlisi esdevé d'importància per entendre i aproximar el comportament dels edificis i així saber on actuar per reduir el seu consum energètic. Aquesta feina ha de servir com un pas previ a una anàlisi més detallada dels edificis en particular i l'elaboració de plans per a l'estalvi energètic.

Té com a fita contribuir a aconseguir els objectius marcats en quant a reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> que s'estableixen en les directives estatals i europees, les quals preveuen una reducció del consum energètic a diversos horitzons; el més proper, una reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> del 20% per al 2020.

- Es realitzarà una comparativa de consums i comportament entre edificis de la mateixa universitat i entre campus. Amb aquestes comparacions es pretén identificar els edificis on és més urgent realitzar renovacions energètiques o una millora del seu ús.
- Un altre objectiu serà el d'analitzar l'eficiència energètica dels edificis, il·lustrant fins en quin punt l'ús real de l'energia i la generació a les universitats mediterrànies, estan d'allunyats dels objectius NZEB que marca la UE, i també proposar estratègies potencials per aconseguir aquests objectius.

Per realitzar aquesta anàlisi s'han compilat les dades de consum de gas natural, consum elèctric, producció d'energia fotovoltaica i temperatura ambient de Lleida amb la màxima resolució horària disponible. En el cas de gas natural es disposa dels comptes mensuals dels últims 8 anys (2010-2017), per a l'electricitat es tenen lectures horàries pels últims 3 anys (2015-2017), i tant per la producció d'energia fotovoltaica com de temperatura ambient es disposen de dades amb resolució horària pels últims 7 anys (2011-2017).

Esmentar que aquest anàlisi s'ha utilitzat l'aplicació de fulles de càlcul *Excel* per l'anàlisi de dades mensuals de gas natural, i per les dades horàries d'electricitat, s'ha utilitzat l'entorn i llenguatge de programació *R*, una eina molt útil en anàlisi estadístic i mineria de dades.

L'abast del projecte està contingut en els objectius descrits anteriorment, remarcant que el projecte principalment es centra en una anàlisi de les dades de consum energètic, tant de gas com d'electricitat, de tots els edificis de la Universitat de Lleida.

Remarcant que aquest projecte proposa una nova metodologia per avaluar el consum energètic històric i producció d'energia renovable dels edificis universitaris, i després aplicar-ho al cas de la Universitat de Lleida. S'han realitzat diversos estudis amb aquesta direcció, però cap d'ells inclou la combinació d'una anàlisi detallada i horària, de fins a 20 edificis universitaris, inclosos el clima, l'ocupació i combinats amb autogeneració fotovoltaica.

Queda fora de l'abast del projecte realitzar un estudi econòmic de les millores proposades.

### 3. Motivació/Justificació

El curs 2016-2017 va sorgir l'oportunitat de gaudir d'una beca INSPIRES (Institut Politècnic d'Innovació i Recerca en Sostenibilitat) en la Universitat de Lleida com a becari adscrit a projectes d'investigació.

Arran d'aquesta oportunitat, el Dr. Medrano va proposar un projecte relacionat en la temàtica d'eficiència energètica en edificis, i durant la beca mencionada es va treballar en un projecte d'anàlisi del consum energètic en edificis de la Universitat de Lleida.

D'aquest projecte en va esdevenir un article científic [40] publicat en la revista International Journal of Energy and Environment (IJEEE), una revista publicada sota la marca SpringerOpen, que abasta tots els camps relacionats amb l'energia i el medi ambient que s'apliquen a les comunitats científiques i d'enginyeria. Es tracta d'un article en *Open Accés* i es pot consultar en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40095-018-0264-x>.

La motivació més gran d'aquest projecte va ser el de realitzar una anàlisi detallada i horària de fins a 20 edificis universitaris inclosos el clima, l'ocupació i combinats amb l'autogeneració fotovoltaica, ja que fins al moment ningú havia realitzat un estudi d'aquesta magnitud.

En el punt que s'està, és urgent arribar a un acord que garanteixi harmonia amb el medi ambient i el respecte als drets de les generacions futures, per aquesta raó, és necessari modificar i reduir el consum d'energia, segons algunes de les raons següents que s'exposen a continuació:

➤ ***Per una raó ètica i social***

En l'actualitat el 28% de la població mundial consumeix un 77% de l'energia total produïda, mentre que l'altre 72% viu sol amb el 23% restant.

➤ ***Per una raó estratègica***

Per dependre menys d'energia importada com el gasoil, gas, carbó,... ja que Europa depèn de països inestables per satisfer les seves necessitats i no sempre hi ha certesa en el seu subministrament.

➤ ***Per estalviar diners***

Actualment el cost anual de la factura d'energia és un dels problemes més importants en les famílies, empreses i entitats. Amb algunes petites intervencions,

és possible estalviar entre un 20-25% d'energia mantenint les mateixes condicions de confort.

➤ ***Per reduir emissions de gasos d'efecte hivernacle i per tant contribuir a frenar el canvi climàtic***

Amb petites millores d'instal·lacions i en canvi d'hàbits es pot contribuir amb aquesta causa, fent un favor al medi ambient i a les generacions futures.

➤ ***Per contribuir a aconseguir els objectius marcats quant a reducció d'emissions de CO<sub>2</sub>***

Complir amb les directives locals, estatals i europees, les quals preveuen una reducció del consum energètic a diversos horitzons; el més proper, una reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> del 20% per al 2020.



## 4. Emplaçament i descripció dels edificis d'estudi

Els orígens de la Universitat de Lleida es troben en l'antic Estudi General, creat l'1 de setembre de 1300 mitjançant el privilegi fundacional atorgat per rei Jaume II d'Aragó a petició dels estaments municipals.

El 12 de desembre de 1991 el Parlament de Catalunya aprovà la Llei de creació de la Universitat de Lleida, on la institució es va constituir a partir de tots els estudis universitaris de la ciutat de Lleida.

La Universitat de Lleida a dia d'avui és una universitat “jove” i de mida mitjana, la qual disposa de quatre campus dispersos al llarg de la ciutat. Aquests campus són el Campus de Cappont (C1), el Campus del Rectorat (C2), el Campus de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (ETSEA) (C3) i el Campus de Ciències de la Salut (C4).

En la Figura 16 es mostra un plànol de situació dels diferents campus al llarg de la ciutat de Lleida amb la identificació que s'ha utilitzat en aquest treball per a cada edifici.

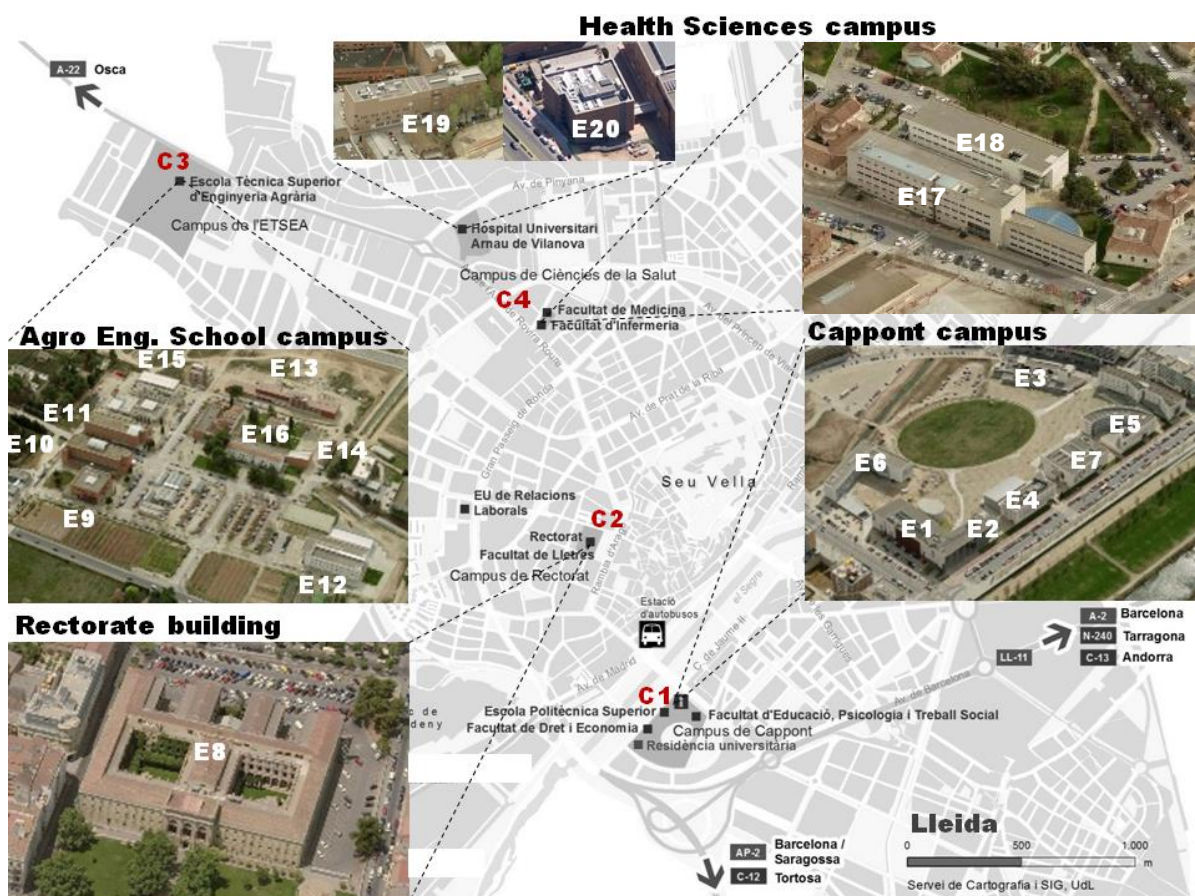


Figura 16: Localització dels campus arreu de Lleida i identificació dels edificis

La Universitat de Lleida està associada a un grup d'universitats catalanes, centres de recerca i parcs d'investigació que tenen accés a la tarifa espanyola d'alt voltatge 6.1 A, per a grans

consumidors, amb una demanda elèctrica superior a 450 kW. Aquesta agregació es fa per pagar preus més baixos de l'energia i ha implicat un ús comú de l'electricitat de 283 GWh/any en el 2016. S'han aplicat estratègies similars en la compra de gas natural, aconseguint una reducció del 24% en els preus del gas l'any 2015.

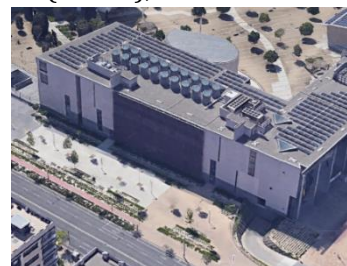
Tot i que aquestes accions donen com a conseqüència una tendència decreixent del cost dels serveis energètics pagats per la UdL, encara s'ha de determinar si aquestes reduccions de costos també estan associades a la reducció del consum d'energia.

A continuació es fa una descripció de tots els edificis i de les seves instal·lacions de climatització, per a cada campus nomenat anteriorment.

#### 4.1 Campus de Cappont

El campus de Cappont (C1) es troba al marge esquerra del riu Segre, al barri de Cappont. Es tracta del campus més nou de tots, concretament va ser inaugurat el 1998. A continuació es descriuen els edificis i les seves instal·lacions de climatització, que componen el campus:

- **E1: Centre de Cultures i Cooperació Transfronterera (CCCT):** Edifici del 2002 amb una superfície construïda de 9697 m<sup>2</sup>, que acull la biblioteca i l'auditori. La refrigeració la realitza amb un sistema d'expansió directa (DX AC), i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres de 07:00 a 21:00 (dissabtes de 07:00 a 14:00). Disposa de 684 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 96,6 kWp.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(2) Calderes condensació marca HOVAL 400 kW tèrmics.	(1) CLIMAVENETA SRAN/B/2404 328 kW, Refrigerant R-407c. Any 2002. (1) CLIMAVENETA WRAN/B1804 206 kW. Refrigerant R-407c. Any 2003.

*Taula 3: Instal·lacions de climatització edifici CCCT*

- **E2: Annex del Centre de Cultures i Cooperació Transfronterera:** Edifici també del 2002 amb una superfície construïda de 1834 m<sup>2</sup>, destinat a temes de gestió acadèmica. La refrigeració i la calefacció les realitza mitjançant bombes de calor. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:00 a 20:00 (zona SIOU de 06:00 a 20:00).



	<b>Calefacció/Refrigeració</b>
<b>(Unitats) Model</b>	(6) Bombes de calor de cabal variable d'expansió directe, marca MITSUBISHI ELECTRIC model PUHY-P200YMF/C de 200 kW tèrmics. Refrigerant R-407c. Any 2002.

*Taula 4: Instal·lacions de climatització edifici Annex CCCT*

- **E3: Centre de Recerca en Energia Aplicada (CREA):** Edifici del 2004 amb una superfície construïda de 3259 m<sup>2</sup> destinat a investigació, laboratoris i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 18:30.



	<b>Calefacció</b>	<b>Refrigeració</b>
<b>(Unitats) Model</b>	(2) IUPPITER. Model SIMAT-RX-320C-EN. Pot. calorífica 320 kW.	(1) YORK YCAJ66ST9-B-GS-150PD de 85 X 2 kW tèrmics. Refrigerant R-407c. Any 2003.

*Taula 5: Instal·lacions de climatització edifici CREA*

- **E4: Escola Politècnica Superior (EPS):** Edifici del 1998 amb una superfície construïda de 5251 m<sup>2</sup>, destinat majoritàriament a docència, laboratoris i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:00 a 21:00. Disposa de 704 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaïques al sostre de l'edifici amb una potència de 95,9 kWp.



	<b>Calefacció</b>	<b>Refrigeració</b>
<b>(Unitats) Model</b>	(1) DIETRICH C-230-210 ECO. Potència calorífica 217 kW.  (1) ROCA NG 400/215 de 249 kW i cremador atmosfèric, any 1997.	(1) YORK YCAJ66ST9-B-GS-150PD de 85 X 2 kW tèrmics. Refrigerant R-407c. Any 2003.

*Taula 6: Instal·lacions de climatització edifici EPS*

- **E5: Facultat de Dret, Economia i Turisme (FDET)**: Edifici del 2001 amb una superfície construïda de 4617 m<sup>2</sup>, destinat a docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 06:00 a 21:15.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(6) ROCA, Model G 400/260 de 112 kW tèrmics, any 2000.	(1) ROCA YORK YCAMB600 R407C

Taula 7: Instal·lacions de climatització edifici FDET

- **E6: Facultat d'Educació, Psicologia i Treball Social (FEPTS)**: Edifici del 2007 amb una superfície construïda de 6660 m<sup>2</sup>, destinat a docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:00 a 21:00.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(2) ROCA BT-270 DE 315 kW i cremador ROCA TECNO 38 GM. Any 2007.	(1) AERMEC RVD 2502 LCCM6135 de 608 kW tèrmics. Refrigerant R-407c. Any 2008.

Taula 8: Instal·lacions de climatització edifici FEPTS

- **E7: Edifici Polivalent 1**: Edifici del 2002 amb una superfície construïda de 7119 m<sup>2</sup>, destinat a docència, aules d'estudi i serveis generals. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua i amb una bomba de calor, en algun dels serveis existents, i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 08:00 a 23:00, però en les aules d'estudi de la primera planta, funciona durant les 24 hores els 365 dies de l'any.





	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(6) ROCA, Model G 400/260 de 112 kW. Any 2000.	(1) ROCA YCAMB-600 461 kW tèrmics, 160 kW elèctrics. Refrigerant R-407c.  (1) Bomba de calor BRAW 8038 C/E4 de 62,3 kW tèrmics, 24,4 kW elèctrics. Refrigerant R-22. (Cafeteria)  (1) Bomba de calor BRAW 150 U/38 de 12.9 kW tèrmics, 5,3 kW elèctrics. Refrigerant R-22. (Copisteria)

Taula 9: Instal·lacions de climatització edifici Polivalent 1

En la Figura 17 es mostra la localització, orientació i numeració dels edificis descrits en aquest apartat.

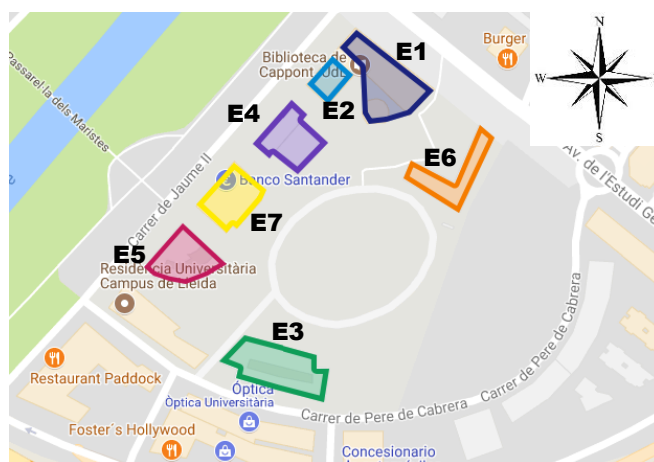


Figura 17: Localització i orientació Campus de Cappedt

## 4.2 Campus del Rectorat

El campus del Rectorat (C2) antic seminari diocesà, és un edifici del segle XIX ubicat a la Rambla d'Aragó que acull els òrgans de govern i la majoria de serveis generals de la UdL, així com la Facultat de Lletres. L'edifici té 3 sectors diferenciats: Rectorat 1, Rectorat 2 i Biblioteca.

- **E8: Edifici Rectorat:** Edifici amb arrels del segle XIX però reformat l'any 1991 amb una superfície construïda de 20889 m<sup>2</sup>, destinat a docència, despatxos, biblioteca, aules d'estudi i d'altres serveis generals. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua i amb sistemes d'expansió directa, la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització en Rectorat 1 i 2 és de dilluns a divendres 07:30 a 21:00, en canvi la Biblioteca opera de 09:00 a 21:00 els 365 dies de l'any.



	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	<p>(3) ROCA. Model TECNO 38G. Any 1999. Potència calorífica: 348,90 kW</p> <p>(1) ROCA. Model TECNO 28G. Any 1999. Potència calorífica: 232,60 kW</p> <p>(1) ROCA. Model TECNO 15G. Any 1987. Potència calorífica: 81,40 kW</p>	<p>(1) CARRIER 30 RB 602-0026PEE. Refrigerant R410a. Potència frigorífica: 593,00 kW. Any 2005.</p> <p>(1) Bomba de calor CLIMAVENETTA NECS-ST-N / LN 0524. Refrigerant R410A. Potència frigorífica: 138,00 kW. Potència calorífica: 179,00 kW. Any 2011.</p> <p>(1) Bomba de calor expansió directa DAIKIN RRY-10MYE de refrigerant R-22.</p> <p>(1) Bomba de calor, cabal variable MITSUBISHI ELECTRIC, Any 2009.</p>

Taula 10: Instal·lacions de climatització edifici Rectorat

En la Figura 18 es mostra la localització, orientació i numeració de l'edifici Rectorat:



Figura 18: Localització i orientació Campus del Rectorat

### 4.3 Campus de l'ETSEA

El campus de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (C3) està situat a les afores de la ciutat de Lleida. És el principal campus agroalimentari i forestal de Catalunya i un dels principals de l'estat espanyol pel que fa al nombre d'estudiants i professors, titulacions impartides i activitat investigadora.

A més de les instal·lacions i serveis de l'ETSEA, al campus també es localitza el Centre UdL-IRTA d'investigació agroalimentària i altres serveis dependents del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP) de la Generalitat de Catalunya.

A continuació es descriuen els edificis i les seves instal·lacions de climatització, que componen el campus:

- **E9: Edifici 1:** Edifici del 1990 amb una superfície construïda de 2145 m<sup>2</sup>, destinat a investigació, docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00. Disposa de 117 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 15,98 kWp.



	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(1) ROCA G400/325. Any 1990.	(1) CLIMAVENETA NECS-ST/B 0804 de 200 kW tèrmics i 75 kW elèctrics. 4 compressors scroll i 2 circuits. Refrigerant R 410a. (21,5x 2 kg). Any 2010.

*Taula 11: Instal·lacions de climatització edifici 1 d'ETSEA*

- **E10: Edifici 2:** Edifici del 1993 amb una superfície construïda de 4547 m<sup>2</sup>, destinat a investigació, docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00. Disposa de 235 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 31,97 kWp.



	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(1) YGNIS model MDF-9 de 300 KW. Any 2009.	(1) TRANE model ERT.AA 217. Refrigerant R22. (67 kg + 67 kg). Any 1996

*Taula 12: Instal·lacions de climatització edifici 2 d'ETSEA*

- **E11: Edifici 3:** Edifici del 1995 amb una superfície construïda de 5395 m<sup>2</sup>, destinat a biblioteca, investigació, docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00, i en la biblioteca de 07:00 a 21:00. Disposa de 235 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 31,97 kWp.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(4) TIFELL ETHERMA 60 SCT	(1) CIATESA model KEYTER/RWA- 50094S500110 de 132.4 KW. Refrigerant R22.  (1) TRANE model ERTAA213 . Refrigerant R22. (47 kg + 47 kg). Any 1996.

Taula 13: Instal·lacions de climatització edifici 3 d'ETSEA

- **E12: Edifici 4:** Edifici del 1996 amb una superfície construïda de 4041 m<sup>2</sup>, destinat a investigació, docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00. Disposa de 352 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 47,95 kWp.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(1) ROCA CPA 130. Potència calorífica 151 kW i cremador ROCA. Any 1994  (1) ROCA CPA 130. Potència calorífica 151 kW i cremador ROCA. Any 2006	(1) AERMEC NRA 700. Potència frigorífica 153 KW, Any 2005. Refrigerant R407C – 18 Kg.

Taula 14: Instal·lacions de climatització edifici 4 d'ETSEA

- **E13: Edifici 5A:** Edifici del 2008 amb una superfície construïda de 2742 m<sup>2</sup>, destinat a serveis, despatxos i també conté un servei de cafeteria/restaurant . La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00. Disposa de 586 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 79,92 kWp.





	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(1) ALDINGAS. Model IUPPITER model HX265 CE-C de 265 kW, Any 2007.	(1) AIRWELL AQL 100 COBOIL STD. 2 compressors Scroll. Gas refrigerant R410a. Any 2007.
	(1) ALDINGAS. Model IUPPITER model HX 135 CE-C de 135 KW, any 2007.	(1) AIRWELL VLS 904STACOPAL/C. 4 compressors Scroll. Gas refrigerant R410a. Any 2007.

Taula 15: Instal·lacions de climatització edifici 5A d'ETSEA

- **E14: Edifici 5B:** Edifici del 2011 amb una superfície construïda de 2187 m<sup>2</sup>, destinat a investigació. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aire-aigua, i la calefacció es fa amb caldera de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00.



	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(1) WOLF. Model MGK170. Potència calorífica 167 kW	(1) Refredadora CLIMAVENETA

Taula 16: Instal·lacions de climatització edifici 5B d'ETSEA

- **E15: Edifici 6:** Edifici del 2008 amb una superfície construïda de 876 m<sup>2</sup>, destinat a investigació, docència i despatxos. La refrigeració i la calefacció les realitza mitjançant bombes de calor. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00.



	Calefacció/Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(1) Bomba de calor aire-aigua MCQUAI model MCSMART 500CR de 114.7/157.5Kw, R-407c. Any 2008.

Taula 17: Instal·lacions de climatització edifici 6 d'ETSEA

- **E16: Edifici AB:** Edifici del 1984 amb una superfície construïda de 6111 m<sup>2</sup>, destinat a investigació, docència i despatxos. La refrigeració es realitza amb sistemes d'expansió directa i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00. Disposa de 117 m<sup>2</sup> en superfície de plaques fotovoltaiques al sostre de l'edifici amb una potència de 15,98 kWp.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	<p>(1) ROCA CPA de 348.9 kW i cremador ROCA. Any 1994.</p> <p>(1) ROCA CPA 250 de 290.7 KW i cremador ROCA TECNO 28-G. Any 1998.</p> <p>(1) SAUNIER DUVAL. Model THEMA FAST F30EA. Potència calorífica 32 kW. Any 2004.</p>	<p>(1) Bomba de calor ROCA model RCV-45-38/E de 50.5 KW elèctrics</p> <p>Sistemes exteriors:</p> <p>(1) DAIKIN BC3K</p> <p>(2) DAIKIN RXY10. Potència frigorífica 32400 Kcal/h</p> <p>(3) DAIKIN RNY10. Potència frigorífica 32400 Kcal/h</p> <p>(2) DAIKIN RSX10. Potència frigorífica 25000 Kcal/h</p> <p>(1) DAIKIN BL2</p> <p>Sistemes interiors:</p> <p>(57) DAIKIN FXYA-25</p> <p>(8) DAIKIN FXYH-6</p> <p>(7) DAIKIN FXYH-32</p> <p>(1) DAIKIN FXYH-40</p> <p>(3) DAIKIN FXYH-100</p>

Taula 18: Instal·lacions de climatització edifici AB d'ETSEA

En la Figura 19 es mostra la localització, orientació i identificació dels edificis descrits en aquest apartat.

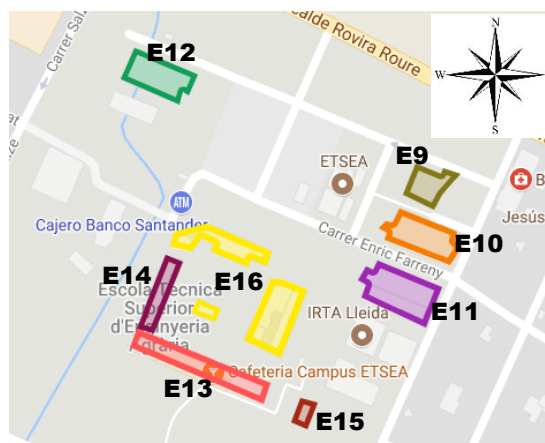


Figura 19: Localització i orientació Campus d'ETSEA

## 4.4 Campus de Ciències de la Salut

El Campus de Ciències de la Salut (C4) està distribuït entre l'Hospital Universitari Arnau de Vilanova, on hi ha la Unitat Docent de Ciències de la Salut, i l'Hospital de Santa Maria, que acull les Facultats de Medicina i d'Infermeria, i la Biblioteca Jaume d'Agramunt, dedicada a les ciències de la salut.

Al recinte de l'Hospital Universitari Arnau de Vilanova s'afegeixen en l'actualitat noves edificacions dedicades de forma exclusiva a la investigació. Així s'hi troba el nou edifici de Biomedicina, que acull l'IRB -Institut de Recerca Biomèdica de Lleida-, i just a la vora ja s'ha projectat un segon edifici bessó que afegirà al recinte 4.000m<sup>2</sup> més destinats a la recerca.

A continuació es descriuen els edificis i les seves instal·lacions de climatització, que componen el campus:

- **E17: Facultat de Medicina:** Edifici del 1998 amb una superfície construïda de 5930 m<sup>2</sup>, destinat a docència, despatxos, recerca i sales d'estudi. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aigua-aigua, i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 21:00, i en les sales d'estudi les 24 hores del dia durant els 365 dies de l'any.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(1) Caldera de gas natural model ROCA NG100/70 de 79 kW i cremador atmosfèric. Any 1997  (2) YGNIS MDF-9 de 300 KW i cremador YGNIS. Any 2007	(1) YORK LGW-80-H1. refrigerant R-22, Any 1987  (1) TRANE ECGCH 250 de 36x2 kW tèrmics, 50 kW elèctrics. Refrigerant R-22, Any 1997

Taula 19: Instal·lacions de climatització Facultat de Medicina

- **E18: Facultat d'Infermeria:** Edifici del 1998 amb una superfície construïda de 3220 m<sup>2</sup>, destinat a docència, despatxos, recerca i biblioteca. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aigua-aigua, i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització és de dilluns a divendres 07:30 a 20:00, i en la biblioteca de 08:00 a 21:00.



	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(2) ROCA NG100/110 de 124 kW i cremador atmosfèric. Any 1997.	(1) TRANE ERTAB 212 de 76 x 2 kW tèrmics, 100 kW elèctrics. Refrigerant R-22. Any 1997

*Taula 20: Instal·lacions de climatització Facultat d'Infermeria*

- **E19: Edifici Docent i Estabulari:** Edifici del 1997 amb una superfície construïda de 6069 m<sup>2</sup>, destinat a docència, despatxos i recerca. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aigua-aigua, i la calefacció es fa amb calderes de gas natural. L'horari d'encesa del sistema de climatització en l'edifici Docent és de dilluns a divendres 07:30 a 21:00, i en l'Estabulari les 24 hores del dia els 365 dies de l'any.



	Calefacció	Refrigeració
<b>(Unitats) Model</b>	(3) ALDINGAS. Model IUPPITER YX265-CE-C. Potència calorífica 265 kW. Any 2007.	(1) TRANE CGAN 214 de 106 x 2 kW tèrmics. refrigerant R-407c. Any 2007.  (1) TRANE ECGAN800F72C2XDF de 48 x 2 KW tèrmics. refrigerant R-407c. Any 2007.

*Taula 21: Instal·lacions de climatització Edifici Docent i Estabulari*

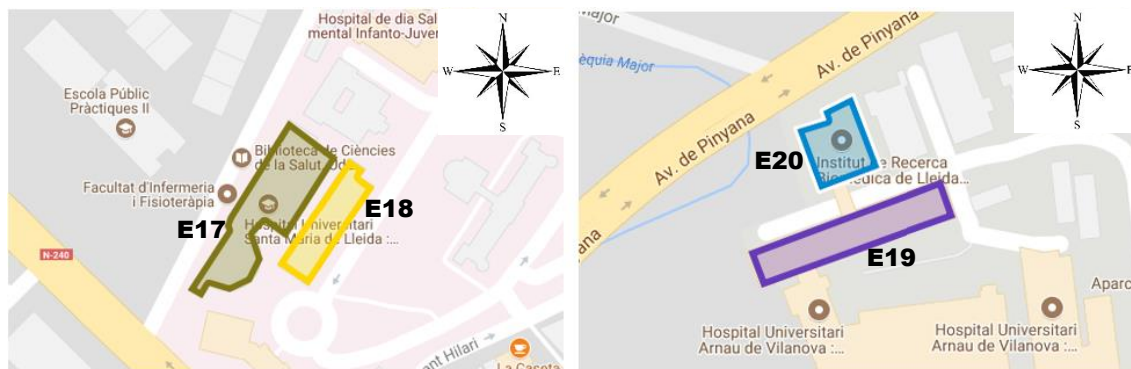
- **E20: Biomedicina:** Edifici del 2012 amb una superfície construïda de 3846 m<sup>2</sup>, destinat a docència, despatxos i recerca. La refrigeració es realitza amb una refrigeradora aigua-aigua, i la calefacció amb calderes de gas natural. El sistema de climatització en aquest edifici funciona les 24 hores del dia els 365 dies de l'any.



	Calefacció	Refrigeració
(Unitats) Model	(6) Caldera marca REMEHA.	<p>(1) Marca YORK. Model 81521N09375157. Refrigerant R410A. Compressors 6,00. Ventiladors 6.</p> <p>(1) Unitat d'expansió directa, cabal variable MITSUBISHI ELECTRIC, PUHY-P500YGM-A. Refrigerant R-410a. Any 2006. I 63/56 KW de potència.</p>

*Taula 22: Instal·lacions de climatització de l'edifici de Biomedicina*

En la Figura 20 es mostra la localització, orientació i identificació dels edificis descrits en aquest apartat.



*Figura 20: Localització i orientació campus Ciències de la Salut*

Un cop descrits els edificis per cada campus, es sintetitza tota la informació exposada en aquest apartat en la taula que es mostra a continuació:

Campus	ID Edifici	Descripció	Any de construcció	Superfície construïda (m²)	Usuaris <sup>(1)</sup>	Sistema de refrigeració	Sistema de calefacció	Plaques fotovoltaïques
<b>Campus 1 (Cappont)</b>	E1	Biblioteca	2002	9697	1486	DX AC	Caldera de gas	Si
	E2	Oficines	2002	1834	94	DX bomba de calor	DX bomba de calor	No
	E3	Recerca, laboratoris, despatxos	2004	3259	302	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No
	E4	Escola Politècnica	1998	5251	1396	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	Si
	E5	Facultat de Dret	2001	4617	826	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No
	E6	Facultat d'Educació	2007	6660	1394	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No
	E7	Aulari i serveis	2002	7119	2120	Refrigerador Aire-Aigua DX Bomba de calor	Caldera de gas	No
<b>Campus 2 (Rectorat)</b>	E8	Facultat d'Humanitats, serveis generals	1991 <sup>(2)</sup>	20889	2075	Refrigerador Aire-Aigua i DX AC	Caldera de gas	No
<b>Campus 3 (ETSEA)</b>	E9	Recerca, classes, despatxos	1990	2145	327	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	Si
	E10	Recerca, classes, despatxos	1993	4547	1015	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	Si
	E11	Recerca, classes, despatxos	1995	5395	1287	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	Si
	E12	Recerca, classes, despatxos	1996	4041	524	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	Si
	E13	Servies, bar i despatxos	2008	2742	479	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	Si
	E14	Recerca	2011	2187	-	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No
	E15	Recerca, classes, despatxos	2008	876	29	DX bomba de calor	DX bomba de calor	No
	E16	Recerca, classes, despatxos	1984	6111	999	DX AC	Caldera de gas	Si
<b>Campus 4 (Ciències de la salut)</b>	E17	Facultat de Medicina	1998	5930	1295	Refrigerador Aigua-Aigua	Caldera de gas	No
	E18	Facultat d'Infermeria i Biblioteca	1998	3220	728	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No
	E19	Classes i recerca	1997	6069	573	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No
	E20	Biomedicina, recerca	2012	3846	515	Refrigerador Aire-Aigua	Caldera de gas	No

Taula 23: Taula resum d'informació dels edificis estudiats

<sup>(1)</sup> Dades d'ocupació màxima segons els plans d'autoprotecció de la Universitat

<sup>(2)</sup> Reformat, construït en el segle XIX



## 5. Característiques del clima en la zona d'estudi

En aquest apartat es descriuen característiques de la climatologia a la ciutat de Lleida, que ajudaran a interpretar i a elaborar les conclusions dels resultats d'aquest projecte.

La ciutat de Lleida situada a 185 metres sobre el nivell del mar, amb una latitud 41° 37' 34" N i una longitud 0° 35' 53" E, segons el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) es troba en la zona climàtica D3. El clima es descriu com mediterrani continental, amb escassetat de precipitacions, temperatures extremes i boira abundant a l'hivern.

Els paràmetres que s'han tingut en compte en aquest estudi són la temperatura mitjana mensual, la precipitació mensual mitjana, la humitat relativa mitjana, el número mitjà mensual de dies de boira, la direcció predominant del vent i la radiació solar. Aquests són paràmetres mitjana de l'observatori de Lleida amb un període de referència del 1983 al 2010. A continuació, en les properes figures es descriu el clima de Lleida.

En la Figura 21 es mostren les temperatures mitjanes a l'aire exterior de Lleida pels diferents mesos de l'any. La temperatura mitjana mínima és de 5,5 °C al gener, mentre que la màxima és de 25,2 °C al mes de juliol. Tal com s'ha comentat anteriorment Lleida té un clima amb temperatures extremes, havent una diferència, del mes més fred al mes més calorós, de quasi 20 °C.

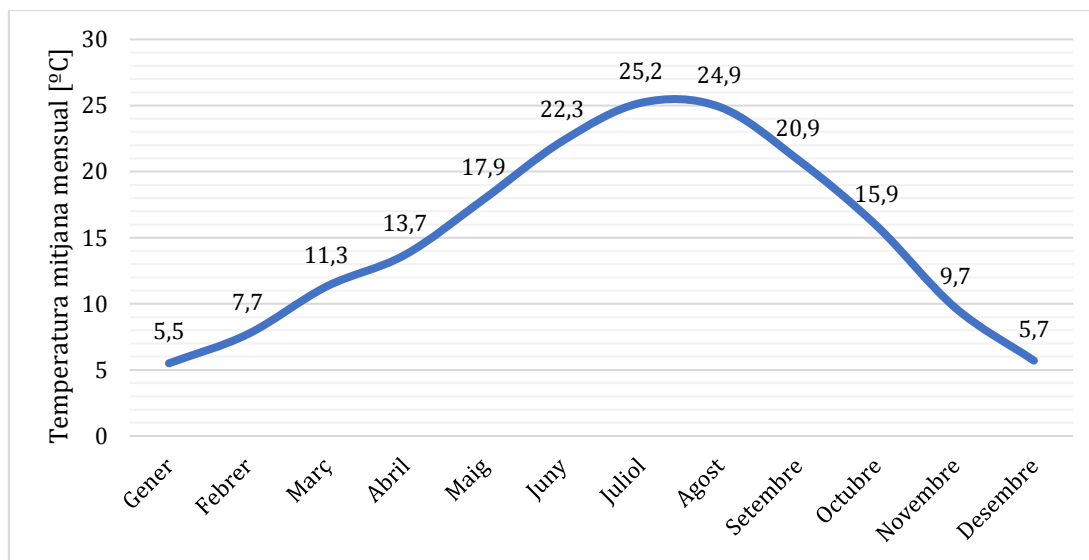


Figura 21: Temperatura mitjana mensual de Lleida. Font: [41]

En la Figura 22 es mostra la precipitació mensual mitjana en mm de Lleida pels diferents mesos de l'any. Es pot observar que en els mesos de abril, maig, setembre i octubre es concentra el 49% de la precipitació anual.

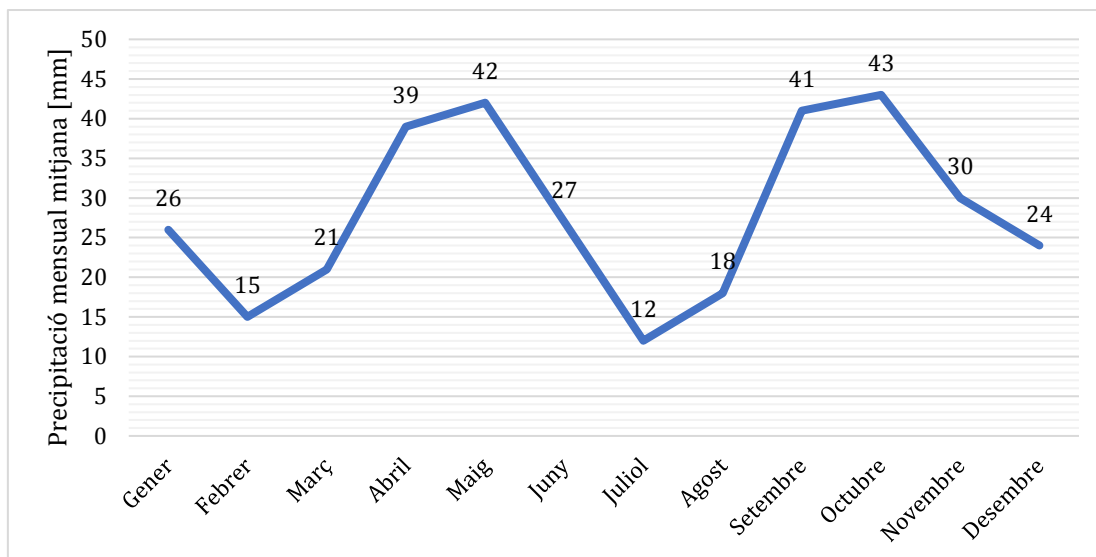


Figura 22: Precipitació mensual mitjana de Lleida. Font: [41]

Una característica a tenir en compte a Lleida i que té un gran impacte en l'energia generada per les plaques fotovoltaïques, és saber la quantitat de dies de boira que hi ha a l'any. En la Figura 23, es mostren les dades d'humitat relativa mitjana mensual i el número mitjà mensual de dies de boira a Lleida. S'observa que es registren gairebé 53 dies de boira a l'any en el període 1983-2010, on els mesos amb més boira són el desembre i el gener.

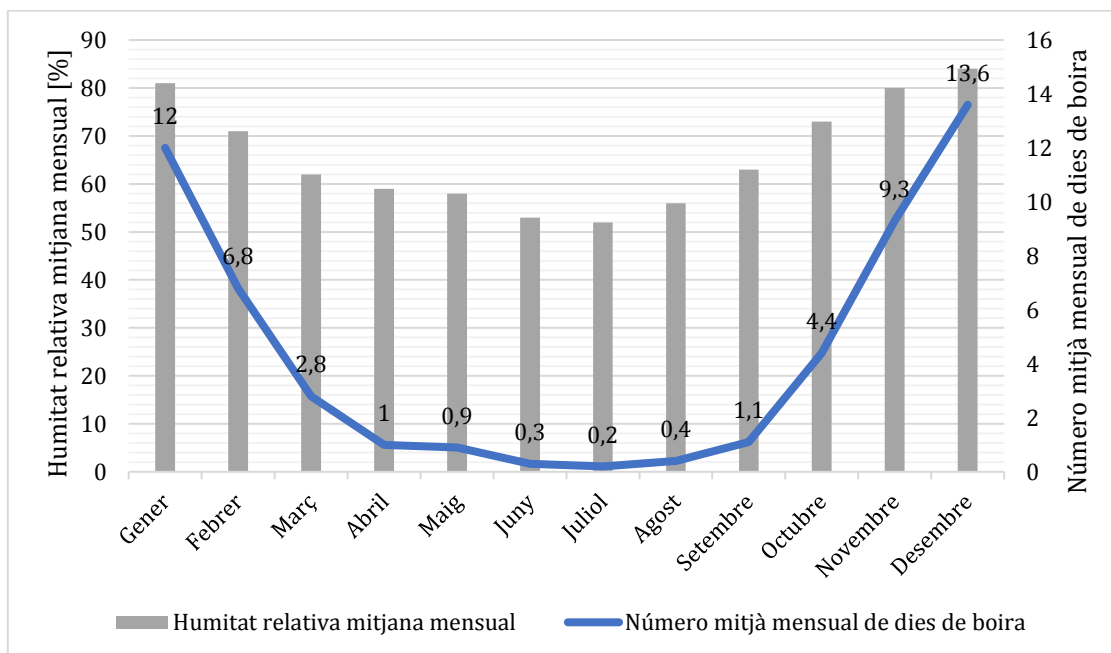


Figura 23: Humitat relativa mitjana mensual i número mitjà mensual de dies de boira de Lleida. Font: [41]

En la Figura 24 es mostra la rosa dels vents de Lleida pel període 1983-2010, on amb diferents colors es mostra la velocitat mitjana del vent a la direcció indicada i radialment, amb una escala de 0 a 1000, s'hi troben el número d'hores a l'any que el vent bufa en la direcció indicada.



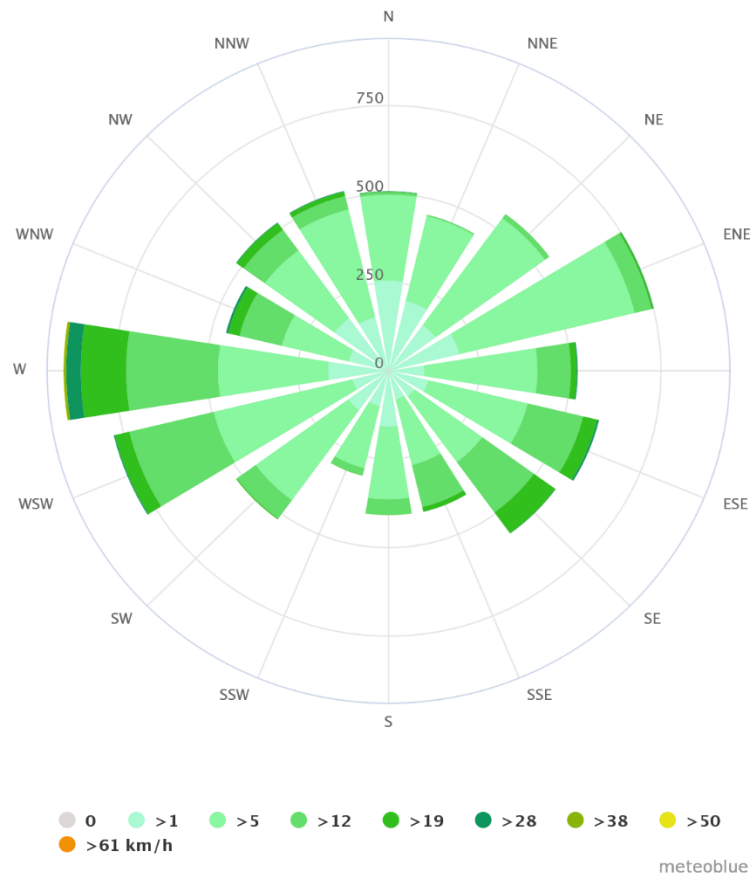


Figura 24: Rosa dels vents de Lleida .Font: [42]

Finalment en la Figura 25 es mostren les mitjanes d'irradiació solar directa, difusa i global per mesos a Lleida, en el període 1983-2005. S'observa que el mes de juliol és el mes on es registra un valor de irradiància directa i global més elevada, i el desembre el mes que menys.

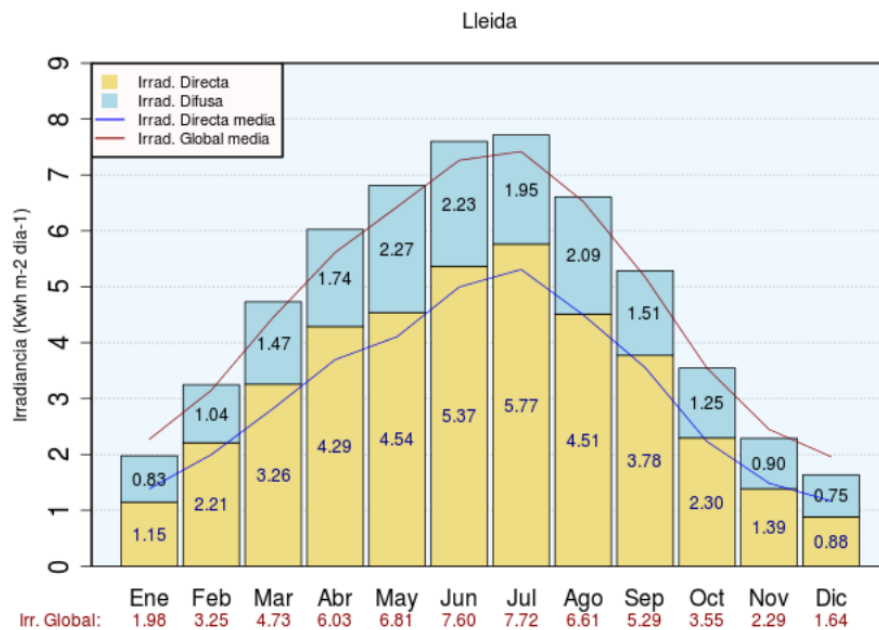


Figura 25: Irradiació mitjana mensual de Lleida. Font: Atles de radiació solar [41]

En la Taula 24 a mode resum, es recullen les dades meteorològiques més característiques de la ciutat de Lleida. Aquestes dades seran tingudes en compte alhora d'interpretar i avaluar els resultats obtinguts en els apartats que es realitzen més endavant.

Variable	Valor registrat
<b>Precipitació total acumulada mitjana</b>	342 mm
<b>Temperatura mitjana</b>	15 °C
<b>Mitjana de temperatures màximes</b>	21,5 °C
<b>Mitjana de temperatures mínimes</b>	8,6 °C
<b>Temperatura màxima absoluta</b>	43,1 °C
<b>Temperatura mínima absoluta</b>	-10,7 °C
<b>Velocitat mitjana del vent</b>	3,05 m/s
<b>Direcció dominant</b>	W
<b>Humitat relativa mitjana</b>	66 %
<b>Radiació diària mitjana total</b>	4,88 kWh/m <sup>2</sup> ·dia

*Taula 24: Taula resum característiques climàtiques de Lleida. Font: [41,42]*

## 6. Consum energètic en les universitats

Les universitats tenen una gran responsabilitat davant el paradigma energètic, ja que són un important agent dinamitzador de la societat i formadores de professionals que en un futur tindran poder de decisió sobre moltes de les accions que es necessitaran emprendre per a solucionar els problemes generats en el model de consum energètic actual.

D'altra banda, la Universitat també disposa del personal qualificat i les eines necessàries per poder investigar models de desenvolupament menys consumistes, noves tecnologies més eficients en l'ús de l'energia i contribuir amb això, a la implantació d'una cultura de sostenibilitat que permeti a l'espècie humana establir una relació més respectuosa amb el seu entorn. La investigació, la sensibilització de la població i per suposat, la reducció del consum energètic, són accions prioritàries per les universitats per a contribuir a solucionar la "crisi ambiental".

En aquest apartat s'analitza en quin sector energètic es troben emmarcats els edificis universitaris, quina és la seva contribució al consum d'energia total, i finalment quins usos té aquesta energia dins del sector energètic en que es troben.

Tal i com s'ha comentat en l'apartat d'introducció, el sector dels edificis a Espanya és responsable del 31,1% del consum d'energia total. Dins d'aquest percentatge s'hi troben dos sectors, el sector residencial (18,6%) i el sector serveis (12,5%). Dins del sector serveis s'hi troben els edificis comercials, oficines, hostaleria i restauració, sanitat, educació i d'altres serveis.

En la Figura 26 es mostra l'estructura del consum energètic en el sector serveis per rames. Els edificis universitaris es troben dins de la rama d'educació, i contribueixen amb un 2,4% sobre el consum total d'energia en el sector serveis.

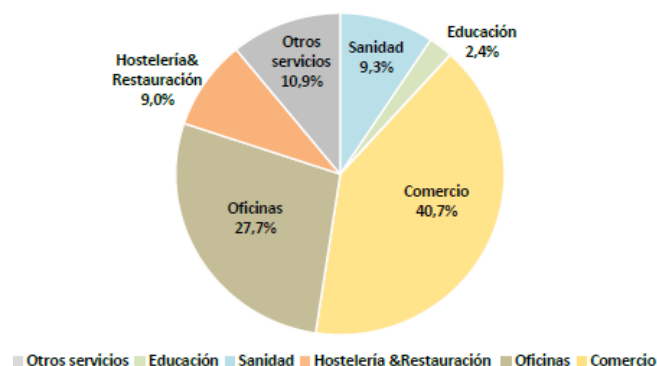


Figura 26: Estructura del consum energètic del sector serveis per rames, 2015. Font: [14]

En la Taula 25 es mostren els consums d'energia final per cadascuna de les rames del sector, havent fet la conversió de dades de IDAE de ktep a GWh.

Rama	Carbó	Productes petrolífers	Gas Natural	Energia Elèctrica	Renovables					TOTAL
					Solar tèrmica	Geotèrmia	Biomassa <sup>(1)</sup>	Biogàs <sup>(1)</sup>	Bio carburants <sup>(1)</sup>	
<i>Unitats de mesura:</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>
<b>Oficines</b>	0	4688	5679	21473	137	2,98	-	-	-	32337
<b>Sanitat</b>	0	1458	3747	5536	48	3,25	-	-	-	10810
<b>Comerç</b>	0	3054	15727	28591	16	0,52	-	-	-	47421
<b>Hostaleria i restauració</b>	0	1511	1611	7190	179	5,16	-	-	-	10543
<b>Educació</b>	0	528	742	1470	53	3,41	-	-	-	2806
<b>Altres Serveis</b>	0	992	3192	7754	175	28	-	-	-	12766
<b>Consum total serveis</b>	0	12232	30699	72014	608	44	960	129	38	116722

*Taula 25: Consum d'energia final en el sector serveis al 2015. Font: [14]*

(1) Es disposa d'un valor de consum total en Biomassa, Biogàs i Biocarburants, però no la seva desagregació per rames.

Analitzant en profunditat la rama d'educació, s'observa que el consum predominant és el d'energia elèctrica seguit del gas natural. Mitjançant les dades dels seguiments energètics sectorials (SES), amb seguiments realitzats fins al 2011. Concretament l'any 2011 el consum total en el sector serveis va ser de 118696 GWh, 1974 GWh superior al de 2015 [43].

Amb les dades sectorials s'ha pogut comprovar que dins de les dades de la rama d'Educació no inclouen el consum en les universitats. En la Taula 26 es pot observar que el consum dels col·legis públics sumat al dels instituts ja superen el consum total d'educació en el 2015, per tant, els edificis universitaris es veurien englobats en la rama d'altres serveis, amb un pes sobre el consum energètic total del sector serveis pel 2011 de 1,37%.

	Carbó	Productes petrolífers		Gas Natural	Energia Elèctrica	Renovables					TOTAL
		GLP	Gasoil			Solar tèrmica	Geotèrmia	Biomassa	Biogàs	Bio carburants	
<i>Unitats de mesura:</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>		<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>	<i>GWh</i>
<b>Col·legis públics</b>	0	2,01	345	1527	547	0	0	0	0	0	2421
<b>Instituts</b>	0	6,28	317	78	284	4,3	0	0	0	0	690
<b>Total Educació 2011</b>	0	8,29	662	1605	831	4,3	0	0	0	0	3111
<b>Total Educació 2015</b>	0	528		742	1470	53	3,41	-	-	-	2806
<b>Universitats</b>	0	1,33	141	432	1041	2,3	2,72	2,41	0	0	1623

Taula 26: Consums d'energia final del sector educació i de les universitats. Font: [14]

En la Figura 27 es mostra l'estructura del consum energètic final per fonts en les universitats l'any 2011. S'observa que la font predominant, amb gairebé 2/3 del consum total, és l'electricitat, seguit del gas natural, els productes petrolífers (majoritàriament gasoil) i finalment amb menys d'un 1% les energies renovables.

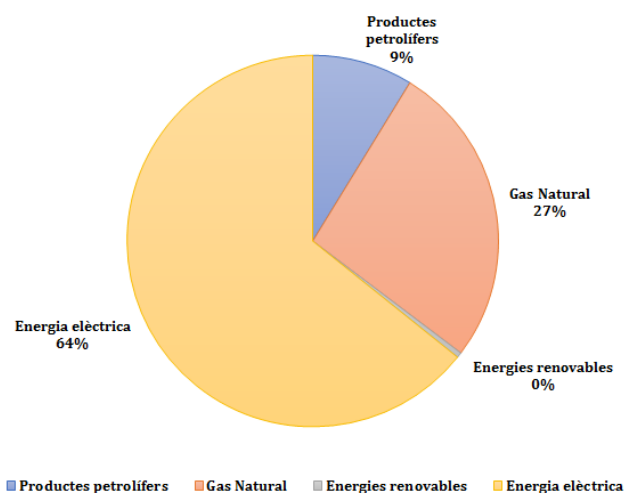


Figura 27: Estructura del consum energètic final en les universitats per fonts, 2011. Font: [14]

En les universitats es consumeix una gran quantitat d'energia degut a l'activitat docent i investigadora que es porta a cap dia a dia. Les aules, biblioteques, oficines, despatxos, laboratoris i d'altres serveis romanen moltes hores il·luminats, així com els espais exteriors dels campus. A l'hivern es consumeix energia en calefacció mentre que a l'estiu en refrigeració, tot i que els mesos més calorosos de l'estiu ja no hi ha activitat docent. D'altres equipaments com els ordinadors, projectors i l'aigua calenta sanitària també requereixen energia.

Més concretament, estudis realitzats en la matèria d'analitzar la utilització d'energia en edificis residencials i de serveis, conclouen que en edificis del sector serveis, el 33% del consum d'energia total és destinat a calefacció, un 16% en il·luminació, un 12% en l'aigua calenta sanitària, un 7% en refrigeració i el 32% restant repartit amb d'altres usos [44].

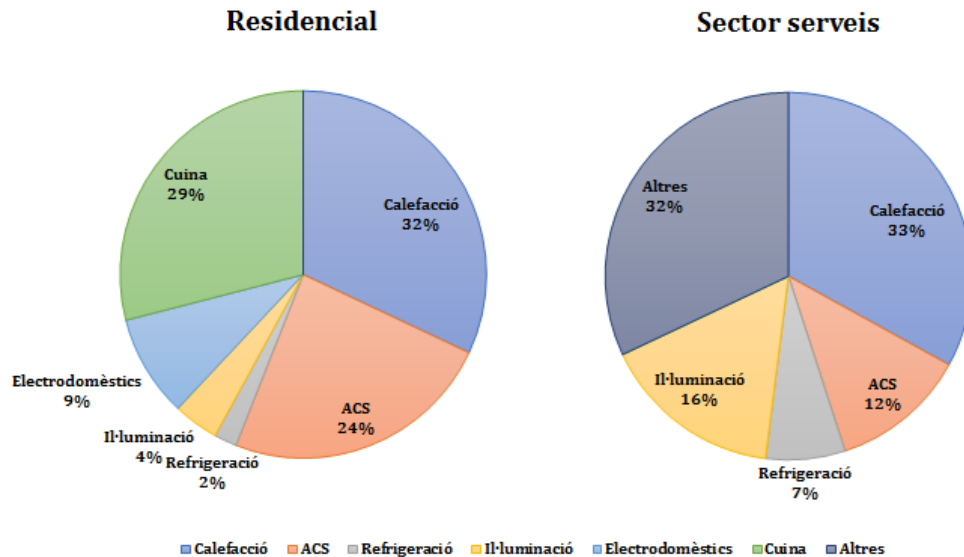


Figura 28: Estructura del consum energètic en els edificis segons usos. Font: [44]

En la Figura 28 es pot observar quins són els usos que tenen més incidència en el consum total d'energia, dins de la diversa tipologia d'edificis del sector serveis. No obstant, aquesta estructura de consums pot ser molt diferent segons la zona climàtica d'estudi, ja que les demandes de calefacció, aigua calenta sanitària (ACS) i refrigeració tenen molta dependència del clima, i no és el mateix avaluar els consums en un clima nòrdic que en un clima mediterrani.

Així doncs s'agafen aquests valors com a referència, sempre tenint en compte el tipus de clima i demandes energètiques que es tenen a Lleida, per finalment poder avaluar els resultats que s'obtindran més endavant.

## 7. Metodologia

En aquest apartat es presenta la metodologia aplicada per realitzar aquest estudi que inclou els següents passos: selecció de l'abast de l'estudi, compilació de les dades dels edificis i l'ús de l'energia, realització d'anàlisis globals i detallades de dades energètiques, avaluació i comparativa entre els objectius nZEB i el rendiment real dels edificis universitaris, i finalment una proposta de millores energètiques.

### 7.1 Selecció de l'abast de l'estudi

En la selecció de l'abast de l'estudi s'ha de conèixer bé la qualitat i la quantitat de dades d'energia dels edificis universitaris. En aquest context, la Universitat de Lleida (UdL) ha estat seleccionada en aquest treball per diversos motius. En primer lloc, es facilita l'accés a dades energètiques recents dels edificis de la universitat, gràcies a la col·laboració amb els responsables del departament d'energia de l'oficina tècnica d'infraestructures de la universitat.

En segon lloc, el clima de Lleida (Bsk per a la classificació Köppen-Geiger) és un clima semi-àrid sec i té més hiverns i estius extrems que requereixen més calefacció i refrigeració en comparació amb altres ciutats mediterrànies.

En tercer lloc, la UdL representa una universitat de grandària mitja en el sistema universitari espanyol i en quart lloc, ha estat pionera a Espanya i Catalunya a l'hora d'instal·lar plaques fotovoltaïques en diversos edificis, de manera que s'aconsegueix la presència necessària de sistemes renovables per a NZEB.

### 7.2 Compilació de dades

#### 7.2.1 Compilació de les dades característiques dels edificis

Com a primera tasca, es compilen diverses característiques importants de l'edifici, com ara la ubicació del campus, any de construcció, ús de l'edifici, sistemes de climatització per a cada edifici, superfície construïda, estimacions d'ocupació per edifici i si incorporen o no algun sistema de generació d'energia. En la Taula 23 es mostra un resum d'aquestes característiques dels edificis estudiats a cada campus, així com la identificació de cada edifici que s'ha utilitzat en els següents apartats, figures i taules.

#### 7.2.2 Compilació de dades energètiques

S'ha compilat el consum de gas i electricitat amb la màxima resolució disponible. En el cas del gas, estan disponibles els comptes mensuals dels últims 8 anys (de 2010 a 2017). Per a l'electricitat, un nou sistema de monitoratge ens permet obtenir lectures d'energia cada 15 minuts els últims 3 anys (de 2015 a 2017). Els mesuradors estan instal·lats a cada edifici i

els registradors de dades de cada edifici envien la informació a través de RS-485 (un sistema de transmissió de dades) a concentradors del campus, que al seu torn transmeten totes les dades a un servidor general del núvol. A aquest servidor es pot accedir a través d'una plataforma en línia, d'on es poden descarregar les dades que siguin del nostre interès. Aquest programari és anomenat DEXCell Energy Manager, de DEXMA Company.

Es preveu instal·lar el mateix sistema per als mesuradors de consum de gas natural per al 2019. La producció d'energia renovable també es monitoritza cada hora des de l'any 2010 i s'ha recollit per l'anàlisi. Aquestes dades es recullen a través d'un servidor en línia anomenat Meteocontrol de Energy&Weather Services, que permeten portar un control de les dades dels parcs fotovoltaics instal·lats com poden ser, dades climàtiques, dades de generació energètica i rendiments.

Existeixen 5 parcs fotovoltaics instal·lats en la Universitat; aquests són sistemes fotovoltaics policristal·lins situats en 2 dels 4 campus dels quals disposa la Universitat, el Campus 1 i el 3. En el Campus 1 es té amb una potència instal·lada de 96,6 kW (en la coberta de E1) i 95,9 kW (en la coberta de E4). Els altres 3 parcs es troben situats en el Campus 3, amb una potència instal·lada de 79,2 kW (en les cobertes de E9,E10 i E11), 47,95 kW (a la coberta de E12) i 95,9 kW (en les cobertes de E13 i E16).

L'àrea total de mòduls fotovoltaics instal·lat és de 3029,1 m<sup>2</sup>, amb una potència instal·lada total de 416,3 kWp. Per poder assignar una generació d'energia per edificis que comparteixen la mateixa instal·lació, amb les dades de superfície de mòduls instal·lats per cada edifici que es mostra en l'apartat 4, s'utilitzen uns factors de ponderació basats en la potència màxima instal·lada per parc fotovoltaic. Aquests factors són de 20,40 i 40% en cobertes de E9,E10 i E11, i 83 i 17% per a E13 i E16 respectivament.

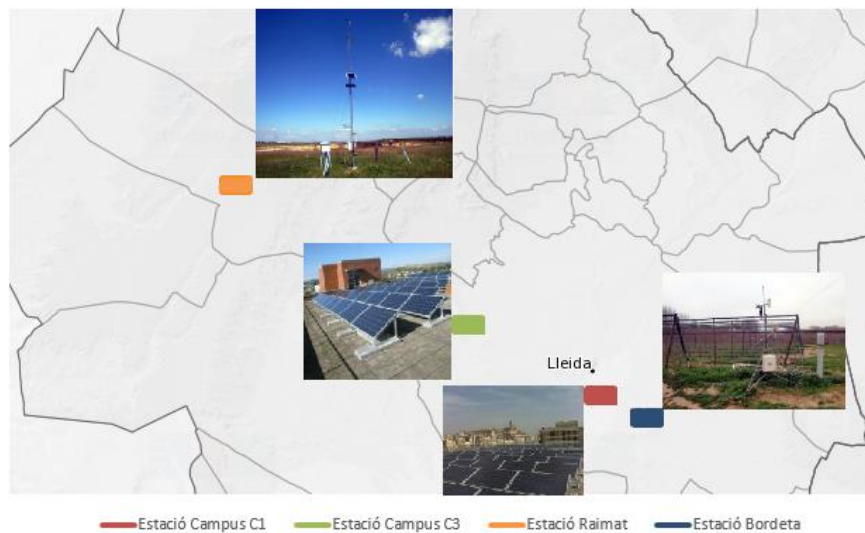
### 7.2.3 Compilació de dades climàtiques

Per realitzar aquest estudi, també s'han compilat dades climàtiques com és la temperatura ambient de Lleida. Es disposa de dos fonts diferents d'on extreure aquesta dada; una és la pàgina del Meteocat i l'altra és el mateix servidor que la producció d'energia renovable Meteocontrol de Energy&Weather Services.

Segons Meteocat, el territori municipal de Lleida disposa de dos estacions amb historial de dades meteorològiques. La més pròxima està situada a la Bordeta, a les afores de Lleida en un camp de cultiu i a uns 3 km del centre de la ciutat. L'altra disponible es troba situada a Raimat, una entitat municipal descentralitzada de Lleida a uns 14 km del centre de la ciutat, també en un camp de cultiu.

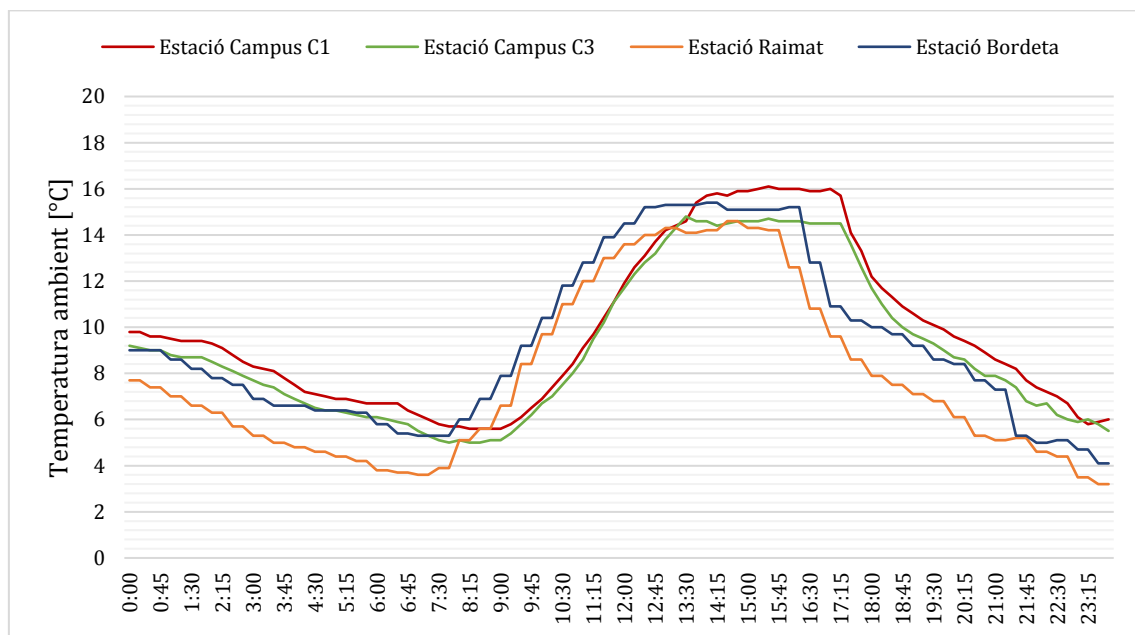


D'altra banda, es tenen dades de temperatura ambient i radiació solar per cada parc fotovoltaic de la universitat. Les dades del Campus de Cappellet (C1), s'obtenen de l'estació situada a la coberta de l'edifici (E1), mentre que les dades del Campus d'ETSEA (C3) s'obtenen de l'estació situada en les cobertes dels edificis (E9,E10 i E11). En la Figura 29 es mostra la ubicació de les diferents estacions meteorològiques amb dades disponibles a la ciutat de Lleida.



*Figura 29: Ubicació de les estacions meteorològiques amb dades disponibles.*

Un cop recollides les dades de temperatura ambient, s'observa una diferència dels valors de temperatura per cada estació avaluada. En Figura 30 s'observa l'evolució de la temperatura ambient per les diferents estacions meteorològiques avaluades.



*Figura 30: Evolució de la temperatura ambient per les diferents estacions avaluades.*

Es pot observar que per a les estacions situades a més distància del nucli urbà, presenten una temperatura més baixa, concretament uns 2 °C de mitjana entre les estacions de Raimat i la de Cappont . Això es degut a l'efecte "illa de calor" que es produeix a la ciutat de Lleida, fet que fa que a les estacions més pròximes al nucli de la ciutat presentin temperatures més elevades. Aquest efecte principalment és degut a l'acumulació de calor en la gran quantitat de formigó i demés materials absorbents de calor i també per la generació de calor pròpia de l'activitat humana.

Alhora d'escollir de quina estació meteorològica s'extreuen les dades de temperatura ambient, es té en compte l'efecte de illa de calor i on es troben situats els edificis a analitzar. Així doncs, com la majoria d'edificis a analitzar es troben situats a 1-2 km màxim del centre de la ciutat, s'escull l'estació meteorològica de les plaques fotovoltaïques del campus de Cappont (C1), amb dades disponibles des del 2011 al 2017.

## 7.3 Anàlisi global i detallada de les dades energètiques

### 7.3.1 Visió general de l'energia

S'ha traçat i analitzat el consum anual d'energia per a gas, electricitat i la producció anual de fotovoltaïca, a nivell de campus i d'edifici. A més dels valors de consum o generació reals, que poden ser molt diferents entre els edificis a causa de la seva mida i activitat, s'han generat i discutit gràfics normalitzats, utilitzant tant l'àrea construïda com el nombre d'usuaris per edificis com a variables de referència per normalitzar.

Finalment s'identifiquen els consumidors més grans, es generen figures absolutes i normalitzades, i es discuteixen possibles motius per descriure el rendiment observat.

### 7.3.2 Anàlisi mensual de les dades de gas

Per aconseguir una millor comprensió de l'ús del gas per a la calefacció i altres usos possibles com la producció d'aigua calenta, es generen línies de rendiment per a cada edifici mitjançant la teoria de graus-dia [45]. Aquestes línies de rendiment són útils per mesurar els estalvis derivats de les renovacions d'eficiència energètica i identificar i corregir problemes operatius i de manteniment [46]. El consum de gas estimat per a un període de calefacció es pot calcular com (Equació 1):

$$F = \frac{24 \cdot HLC \cdot (HDD)}{\eta} + B$$

*Equació 1*

on,

$F$  és el consum de combustible del període (kWh)

$\eta$  és l'eficiència general del sistema de calefacció per a aquest període

$HLC$  és el coeficient general de pèrdua de calor de l'edifici (kW/K), que inclou les pèrdues de calor per conducció, la infiltració d'aire i les pèrdues per ventilació.

$B$  és un valor constant que correspon a altres consums de gas que no són dependents de la climatologia (kWh).

$HDD$  suma dels graus dia diaris pel període de facturació corresponent a un mes ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$ ).

Els graus dia per període,  $HDD$ , es troben com la suma de graus dia diaris,  $Dd$ , durant el període de facturació considerat (aproximadament un mes) utilitzant el mètode més rigorós, amb dades de temperatura exterior per hora. Els graus dia diaris es poden expressar d'acord amb (Equació 2):

$$Dd = \frac{\sum_1^{24} (T_{hb} - T_{ext,i}) \cdot ((T_{hb} - T_{ext,i}) > 0)}{24}$$

Equació 2

on,

$T_{hb}$  és la temperatura de base de la calefacció ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{ext}$  és la temperatura ambient exterior ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Al estudiar el sistema de calefacció es pot afirmar que sortiran valors positius de  $HDD$  únicament quan es compleixi la condició  $T_{hb} - T_{ext} > 0$ , en cas contrari el valor serà nul, és a dir, el sistema de calefacció no estarà actiu.

Per determinar el valor de  $T_{hb}$  de cada edifici, es realitzen diferents estimacions mitjançant valors compresos entre 12 i 18  $^{\circ}\text{C}$ , amb salts de 0,5  $^{\circ}\text{C}$ , i es selecciona la temperatura base de calefacció amb la qual s'obté el millor ajust, el qual s'indica amb el quadrat del coeficient de correlació de Pearson ( $R^2$ ).

Com que els períodes de facturació del gas no sempre són iguals en el nombre de dies entre lectures de gas, per a cada període, el consum de gas per dia s'ha correlacionat amb els  $HDD$  per dia, dividint tant les lectures de gas com el  $HDD$  pel nombre exacte de dies d'aquest període de facturació particular [47]. Així, per a cada edifici, es determina la pendent ( $m$ ) i la intersecció amb el eix y o ordenada a l'origen ( $b$ ), d'una línia de regressió (Equació 3):

$$\left(\frac{F}{n \cdot A}\right) = m \cdot \left(\frac{HDD}{n}\right) + b$$

Equació 3

on,

$n$  és el nombre de dies per a cada període de facturació

$A$  és la superfície construïda bruta ( $m^2$ )

Els consums mensuals de gas també es divideixen per la superfície construïda bruta de cada edifici a efectes de comparació. Així els valors de  $m$  i  $b$  tenen la següent interpretació física (Equació 4):

$$m = \frac{24 \cdot HLC}{\eta \cdot A}; \quad b = \frac{B}{n \cdot A}$$

Equació 4

Un resum del procediment seguit per determinar el coeficient general de pèrdua de calor,  $HLC$ , el consum base de gas natural,  $B$ , i la temperatura base de calefacció,  $T_{hb}$ , es mostra en un diagrama de flux (Figura 31):

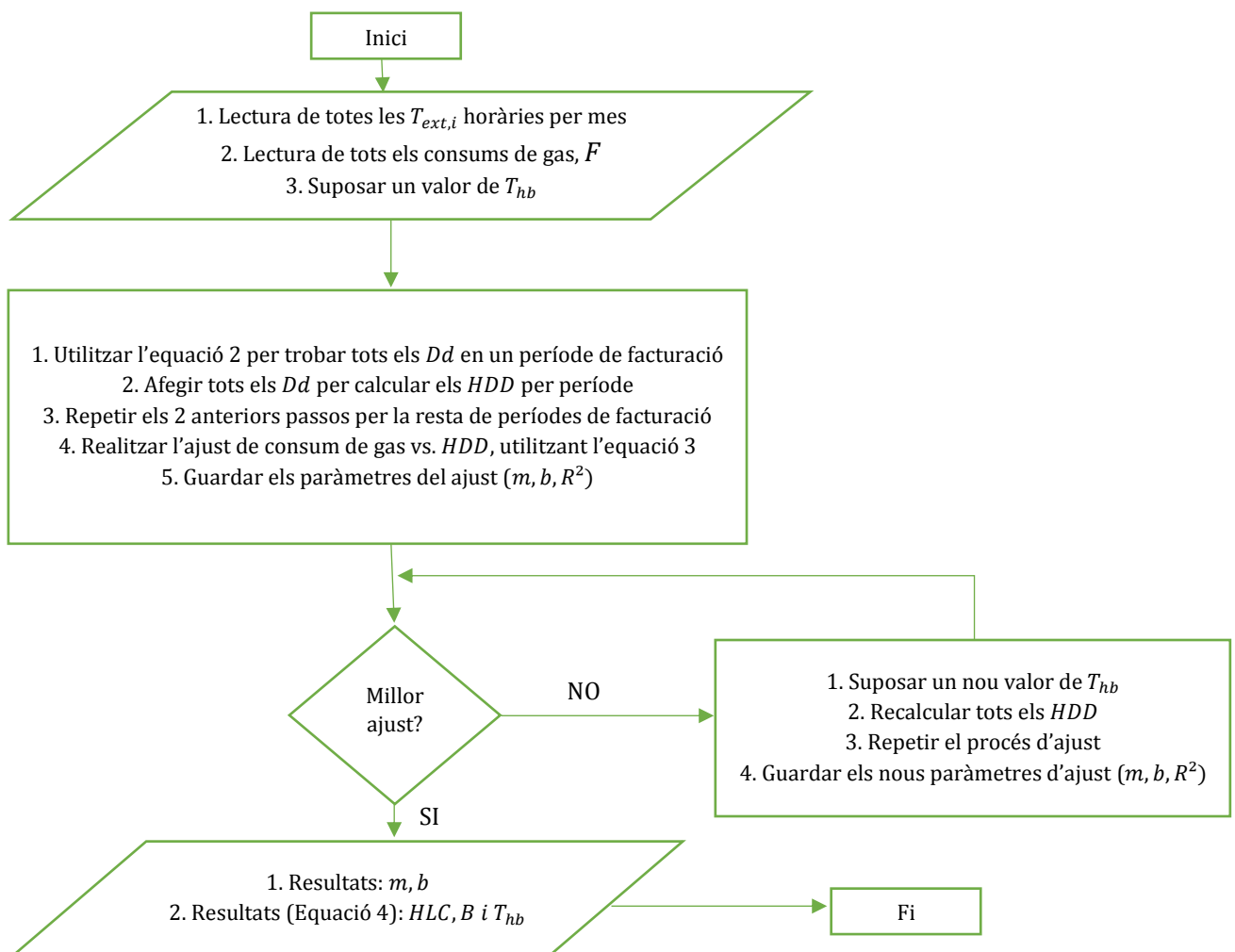


Figura 31: Diagrama de flux que descriu el procediment de càlcul per les dades mensuals de gas

La majoria de lectures de consum de gas per als 8 anys de dades són valors reals, segons el comunicat per l'empresa distribuïdora de gas en les factures. S'han eliminat les lectures de consum que s'han estimat per evitar possibles forats amb cap significat físic. La comparació dels valors de les pendents,  $m$ , dels diferents edificis, s'utilitzarà per classificar-los com a nivell d'eficiència de calefacció de l'edifici. Com més gran sigui el pendent, major serà la dependència a la temperatura externa ambient (edifici menys eficient).

### 7.3.3 Anàlisi horari de les dades d'electricitat

S'analitzen 3 anys de dades d'electricitat (2015, 2016 i 2017) per a tots els edificis dels 4 campus de la UdL, amb una resolució temporal d'una hora, utilitzant el llenguatge de programació i l'entorn de programari R [48].

A continuació s'expliquen els passos que es segueixen en el programa R que s'ha creat per analitzar les dades d'electricitat. En l'**Annex 1** d'aquest projecte, es troba un codi amb llenguatge R utilitzat per analitzar un dels edificis de la UdL.

- **Pas 1:** Càrrega de llibreries i fitxers de funcions  
Es carreguen les llibreries necessàries per fer l'anàlisi. Aquestes ens permeten llegir fitxers .csv, detectar valors anòmals, detectar i omplir buits, fer representacions gràfiques, etc...
- **Pas 2:** Lectura de les dades de consum elèctric de l'edifici.  
Es llegeixen les dades de consum elèctric de l'edifici des d'un arxiu .csv i es posen els valors llegits en columnes i amb el format adequat per tractar-les.
- **Pas 3:** Representació gràfica del consum elèctric per setmanes.  
Es realitza una representació gràfica del consum elèctric per hora en parcel·les setmanals, durant les 156 setmanes del període de 3 anys. Aquesta visió és útil per identificar ràpidament els patrons diaris i setmanals, el nivell d'activitat durant els caps de setmana i els períodes de vacances, les càrregues base durant les hores que l'edifici està desocupat, la potència addicional utilitzada per els sistemes de refrigeració o calefacció, errors en les lectures o buits en les dades, etc...  
També es poden fer comparacions entre edificis del mateix campus o entre diferents campus.
- **Pas 4:** Agregació diària dels consums horaris.  
S'agreguen els consums horaris de cada dia per obtenir el consum total diari dels 3 anys de dades.

- **Pas 5:** Consum en percentatge sobre el total de tots els dies de la setmana.  
En aquest apartat es vol observar el pes que té cada dia de la setmana sobre el consum total elèctric, fent èmfasi en el consum degut als dissabtes, ja que hi ha edificis que obren parcialment els dissabtes i tenen una certa activitat que deriva en un consum elèctric. S'analitza el percentatge sobre el total de la setmana, que representa el consum en tots els dissabtes del període de 3 anys. Un cop avaluat aquest percentatge es pot decidir si excloure els dissabtes de l'estudi.
- **Pas 6:** Detectar i reomplir forats o buits.  
Mitjançant llibreries es detecten els buits en les dades. Com els forats de temps són petits en tots els casos, es realitza una interpolació lineal dels valors de consum elèctric.
- **Pas 7:** Lectura de dades del fitxer de temperatura ambient de Lleida.  
Es llegeixen els valors de temperatura ambient des d'un arxiu .csv i es posen els valors llegits en columnes i amb el format adequat per tractar-les.
- **Pas 8:** Detectar i omplir forats.  
Com en el cas del consum elèctric, es realitza una interpolació lineal dels valors de temperatura ambient.
- **Pas 9:** Filtratge de les dades  
Per tal de trobar la dependència climàtica de l'edifici es realitza una sèrie de filtratges de les dades de consum, exclouent els dissabtes i diumenges, festius i períodes de vacances i valors anòmals que es puguin detectar.  
Els diumenges i dissabtes es treuen en tots els casos, ja que aquests en la gran majoria d'edificis no superen el 15% del consum total i la inclusió d'aquests punts en l'anàlisi distorsionarien els resultats i no mostrarien el comportament real de l'edifici.  
També s'exclouen els períodes de vacances d'hivern, estiu i setmana santa. En tots els casos es realitza una inspecció visual dels valors a eliminar, ja que en cas de detectar-se un consum normal en un dia de vacances, suposa que l'edifici té una activitat normal, i en aquest cas no s'exclou. Això pot passar degut a que es tenen gran varietat d'edificis, amb usos i calendaris diferents, no obstant s'ha observat que la gran majoria segueixen els mateixos períodes de vacances i festius.  
Aquests períodes i festius eliminats són els que es recullen en la Taula 27:

Any	2015	2016	2017
<b>Vacances estiu</b>	del 1-08-2015 al 21-08-2015	del 5-08-2016 al 26-08-2016	del 5-08-2017 al 25-08-2017
<b>Vacances hivern</b>	del 1-01-2015 al 6-01-2015 i del 23-12-2015 al 31-12-2015	del 1-01-2016 al 6-01-2016 i del 23-12-2016 al 31-12-2016	del 1-01-2017 al 8-01-2017 i del 21-12-2017 al 31-12-2017
<b>Setmana Santa</b>	del 28-03-2015 al 06-04-2015	del 20-03-2016 al 28-03-2016	del 8-04-2017 al 17-04-2017
<b>Dies festius</b>	1-05-2015: Dia del treballador 11-05-2015: Festa major de Lleida 24-06-2015: Sant Joan 11-09-2015: Diada de Catalunya 28,29-09-2015: Festa de Sant Miquel 12-10-2015: Festa Nacional 7,8-12-2015: Pont de la Puríssima	11-05-2016: Festa Major de Lleida 24-06-2016: Sant Joan 29,30-09-2016: Festa de Sant Miquel 12-10-2016: Festa Nacional 1-11-2016: Tots Sants 6,8,9-12-2016: Pont de la Puríssima	1-05-2017: Dia del treballador 11-05-2017: Festa Major de Lleida 11-09-2017: Diada de Catalunya 28,29-09-2017: Festa de Sant Miquel 12-10-2017: Festa Nacional 1-11-2017: Tots Sants 6,7,8-12-2017: Pont de la Puríssima

*Taula 27: Períodes i festius eliminats en l'anàlisi de dades de consum elèctric*

A part d'aquest períodes i festius que comparteixen gairebé tots els edificis analitzats, també existeixen d'altres dies festius com poden ser dies festius propis per facultats. Aquests també s'analitzen per si tenen un consum baix, i si és així s'eliminen.

Es representen les dades de temperatura ambient davant les de consum elèctric, i s'observa si en el núvol de punts generats s'hi observa algun valor anòmal o *outlier*. Si s'observa, s'analitza i es pren la decisió de excloure el punt o no.

Finalment amb el núvol de punts ja filtrat, es divideixen els consums elèctrics diaris per la superfície bruta construïda, per tal de normalitzar els resultats a obtenir i poder realitzar una comparació d'aquests resultats entre edificis.

- **Pas 10:** Dependència climàtica de l'edifici i cerca de la temperatura de canvi (Change point temperature).

L'objectiu d'aquest estudi es determinar la dependència climàtica del consum elèctric. Per als 18 edificis amb calefacció de gas natural, s'aplicarà un model de refrigeració de 4 paràmetres (4P) [46],[49]. Aquest model té la següent fórmula matemàtica (Equació 5):

$$E = C + B_1(T - T_{cb})^+ B_2(T_{cb} - T)^+$$

*Equació 5*

on,

$C$  és una constant que representa la càrrega o consum base diari de l'edifici per superfície (kWh/m<sup>2</sup>·dia).

$E$  és el consum diari d'electricitat per superfície (kWh/m<sup>2</sup>·dia).

$T$  és la temperatura mitjana diària ambient exterior (°C).

$B_1$  és la pendent de la línia de regressió de la dreta, per  $T > T_{cb}$  (kWh/K·m<sup>2</sup>).

$B_2$  és la pendent de la línia de regressió de l'esquerra, per  $T < T_{cb}$  (kWh/K·m<sup>2</sup>).

$T_{cb}$  és la temperatura base de refrigeració de l'edifici o també temperatura de change-point (°C).

La notació  $()^+$  indica que quan el terme entre parèntesis resulta un nombre negatiu, correspon a un 0.

Per als dos edificis que utilitzen electricitat tant per calefacció com per la refrigeració a través de bombes de calor, s'aplica un model de 5 paràmetres (5P), que mostra la dependència climàtica tant en la temporada d'hivern com la d'estiu [50],[51]. L'expressió matemàtica d'aquest model 5P és (Equació 6):

$$E = C + B_1(T - T_{cb})^+ B_2(T_{hb} - T)^+$$

*Equació 6*

on,

$T_{hb}$  és la temperatura base de calefacció de l'edifici (°C).

Per trobar aquests punts de canvi de tendència en l'anàlisi de la regressió lineal, s'utilitza el paquet "segmented" [52] d'R, el qual ens permetrà determinar tots els paràmetres descrits anteriorment.

➤ **Pas 11:** Comprovar el model lineal generat

Finalment per tal de verificar les assumpcions del model lineal generat en la línia de regressió sobre el gràfic de dispersió, temperatura ambient davant el consum elèctric normalitzat per superfície, es generen una sèrie de gràfiques que ens



permeten analitzar la linealitat, normalitat, homoscedasticitat i independència dels residus, i també detectar punts amb gran influència en l'ajust.

Si es detecta que hi ha punts amb gran influència s'han d'analitzar i avaluar si s'han d'excloure de l'anàlisi o no.

### 7.3.4 Nivell d'acompliment dels objectius NZEB i propostes de millora energètica

Per avaluar fins en quin punt els edificis dels diferents campus de la UdL compleixen la definició NZEB, s'utilitzarà la metodologia adoptada en la normativa espanyola de construcció. A Espanya, la regulació vinculada a la definició de NZEB s'ha centrat majoritàriament als edificis de nova construcció i ha evolucionat des de la configuració inicial dels requisits mínims per a la demanda energètica de l'edificació el 2006, fins a la definició dels mètodes per avaluar la porció d'energia primària no renovable el 2013. L'any 2018 existeix un mandat (M/480) per adoptar l'estàndard general de l'EPBD (FprEN 15603-1 o la seva nova actualització, el projecte prEN ISO/DIS 52000-1) [53], com a nou document de referència dins dels reglament de construcció espanyol. En aquesta proposta es combinen diferents requisits per a una avaluació coherent d'un NZEB que s'adapti a la definició de l'EPBD (2010/31/UE), a l'article 2. A la Taula 28, es resumeixen els requisits necessaris per adoptar la categoria NZEB.

<i>Direcció de càlcul →→→</i>			
<i>1er requeriment</i>	<i>2on requeriment</i>	<i>3er requeriment</i>	<i>Qualificació final NZEB</i>
Envolupant de l'edifici (UA)	Sistemes de l'edifici + energia relacionada al transport únicament proper, llunyà	Font renovable in-situ, proper, llunyà	Compensació per exportació, in-situ, proper, llunyà
Necessitats energètiques	Ús total d'energia primària $f_{p,tot}$	Energia primària no renovable $f_{p,nren}$	Tot + energia primària no renovable $f_{p,nren}, K_{exp}$

*Taula 28: Requisits per aconseguir la categoria NZEB definida en el prEN ISO/DIS 52000-1*

Com es pot veure, l'ús d'energia primària total es divideix entre la porció d'energia primària no renovable ( $f_{p,nren}$ ) i la porció d'energia primària renovable ( $f_{p,ren}$ ). Per complir els requisits de NZEB, cal tenir en compte un altre factor, el factor d'exportació ( $K_{exp}$ ), el qual defineix la fracció d'energia exportada en cas que existeixin sistemes locals o propers de generació d'energia renovable.

## 8. Anàlisi dels resultats

### 8.1 Visió general de les dades anuals d'energia

Primerament s'analitzen els consums anuals d'energia per cada edifici tant per gas natural com electricitat. Per tal de visualitzar aquests resultats, s'han generat dues figures, ordenant els edificis per consum, de més gran a més petit, de dreta a esquerra per cada campus.

En la Figura 32 es mostren els valors absoluts anuals de consum elèctric dels vint edificis universitaris estudiats en 2015, 2016 i 2017. Es destaquen clarament els tres consumidors principals, amb consums d'electricitat per sobre dels 1000 MWh/any. Si es realitza una comparació, l'edifici Rectorat (E8), és més gran que la mida mitjana de la resta d'edificis (21000 vs 5250 m<sup>2</sup>), de manera que això pot explicar aquesta energia extra que es consumeix. D'altra banda, els edificis E19 i E20, tenen superfícies construïdes iguals o fins i tot més petites que la mitjana. En aquest cas, altres motius com la potència addicional requerida en els laboratoris, un consum continuat durant les 24 hores del dia i altres equips de recerca biològica, poden explicar els resultats d'aquests grans consums. La resta dels edificis es troben entre els 50 i els 600 MWh/any, amb petites diferències entre els 3 anys estudiats. L'excepció és l'edifici E19, que ha duplicat el seu consum a partir del 2016, probablement a causa de l'obertura de nous laboratoris de recerca d'alta intensitat energètica.

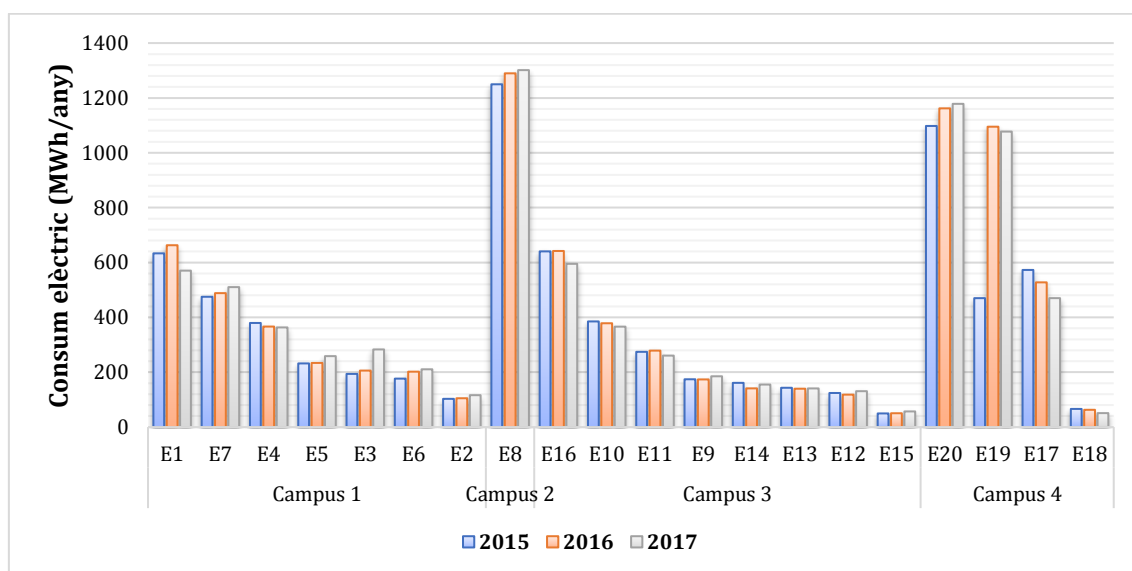


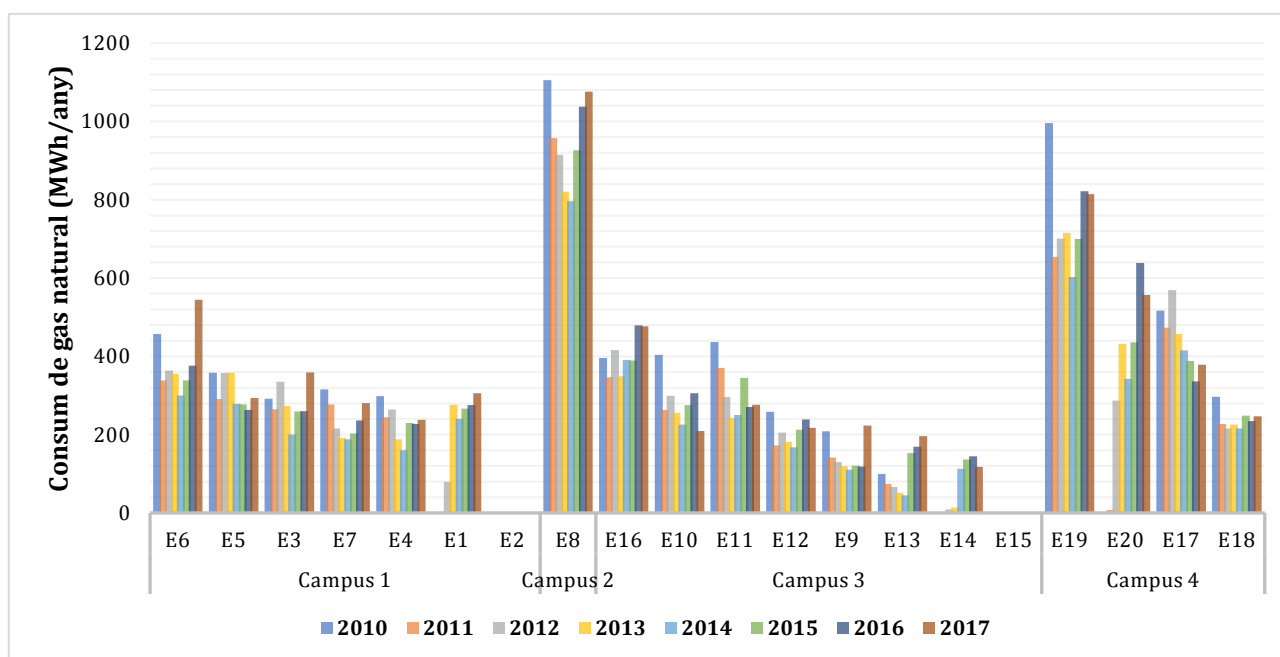
Figura 32: Consum històric anual d'electricitat (3 anys) per cada edifici de la UdL

L'evolució històrica del consum de gas natural a la UdL es mostra en la

Figura 33. S'ha de tenir en compte que els edificis E2 i E15 no tenen consum de gas natural, ja que les seves necessitats de calefacció ja estan cobertes per una bomba de calor accionada elèctricament (Veure Taula 23).

De nou, l'edifici E8 és el major consumidor, probablement per la seva mida, seguit dels mateixos edificis del Campus Ciències de la Salut que es troben en l'anàlisi d'electricitat, E20 i E19. L'ús mitjà de gas natural en el 2017 és de 341 MWh/any, estant tots els edificis en el rang 150-1100 MWh/any.

En general s'observa una disminució de la tendència de consum de gas natural fins l'any 2014, mentre que en els darrers tres anys es detecta una tendència creixent en molts edificis. Especialment, s'observa una forta pujada del consum en l'últim any en els edificis E6, E3 i E9.



*Figura 33: Consum històric anual de gas natural (8 anys) per cada edifici de la UdL*

Per analitzar si aquesta tendència de creixement del consum de gas natural en els últims anys es degut a la severitat climàtica d'aquests, es realitza una normalització del consum de gas natural de cada any, dividint aquests pels graus dia de calefacció anuals. Per aquest motiu s'han recopilat els graus dia de calefacció a Lleida, assumint una temperatura base de 15 °C, en el període des de 2011 a 2017. En aquest estudi no es tenen en compte les dades del 2010, ja que la font d'on s'extreuen les dades de temperatura ambient de Lleida només disposa de lectures de temperatura a partir de 2011. En la Taula 29 es mostren els graus dia de calefacció anuals pel període estudiat. Es pot observar que els anys més severos climàticament han estat el 2012 i 2013, i els més bondadosos el 2011 i el 2014.

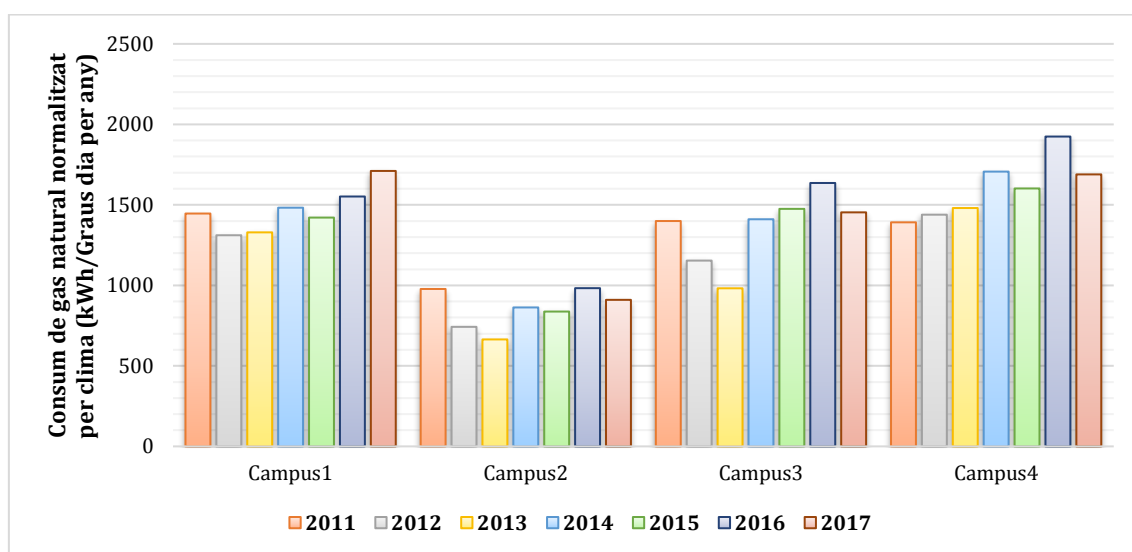
Anys	Graus dia de calefacció anuals
2011	979,14
2012	1232
2013	1235,91
2014	923,38
2015	1106,81
2016	1055,60
2017	1181,98

*Taula 29: Graus dia de calefacció anuals a Lleida des de 2011 al 2017.*

Coneixent la severitat climàtica del període estudiat, en la Figura 34 es mostra l'evolució en els anys del consum de gas natural normalitzat per cada campus.

Es pot observar que en la majoria de campus hi ha una tendència creixent del consum de gas natural. Els anys més bondadosos climàticament (2011 i 2014) mostren un consum elevat respecte al 2012 i 2013 que han estat els més severos. Això indica que en els anys més bondadosos climàticament parlant, s'ha fet un ús incorrecte dels sistemes de calefacció amb temperatures de consigna errònies.

Si s'observa amb més detall, els anys 2016 i 2017 han estat els anys amb més consum de gas natural, tot i que en els campus 2,3 i 4 s'observa una reducció del consum, de l'any 2016 al 2017. Malauradament, el comportament normalitzat del Campus 1 indica un deteriorament de les pèrdues de calor per transmissió i infiltració o be una disminució de l'eficiència dels sistemes de calefacció de gas natural en els darrers anys. En general, s'hauria d'analitzar i invertir encara més per assolir els objectius de NZEB.



*Figura 34: Consum històric de gas natural dels 4 campus normalitzat pel clima.*

D'altra banda, per tal de poder realitzar una comparació de consums entre edificis, es realitza una normalització dels consums de gas natural i electricitat per la superfície construïda. En la Figura 35 es mostra el consum d'electricitat normalitzat per superfície construïda de tots els edificis.

Amb aquesta normalització per superfície, els dos edificis de Ciències de la Salut es destaquen com a principals consumidors, fins i tot més que en la comparació absoluta feta anteriorment. D'altra banda, l'altre gran consumidor, l'edifici E8, es situa amb valors un 21% menors que la mitjana que és de 78 kWh/m<sup>2</sup>. El Campus 1 és el que consumeix menys electricitat per m<sup>2</sup>, amb un rang de consums entre 30 i 85 kWh/m<sup>2</sup>, mentre que els consums del campus que consumeix més, el Campus 4, es situen entre 20 i 300 kWh/m<sup>2</sup>.

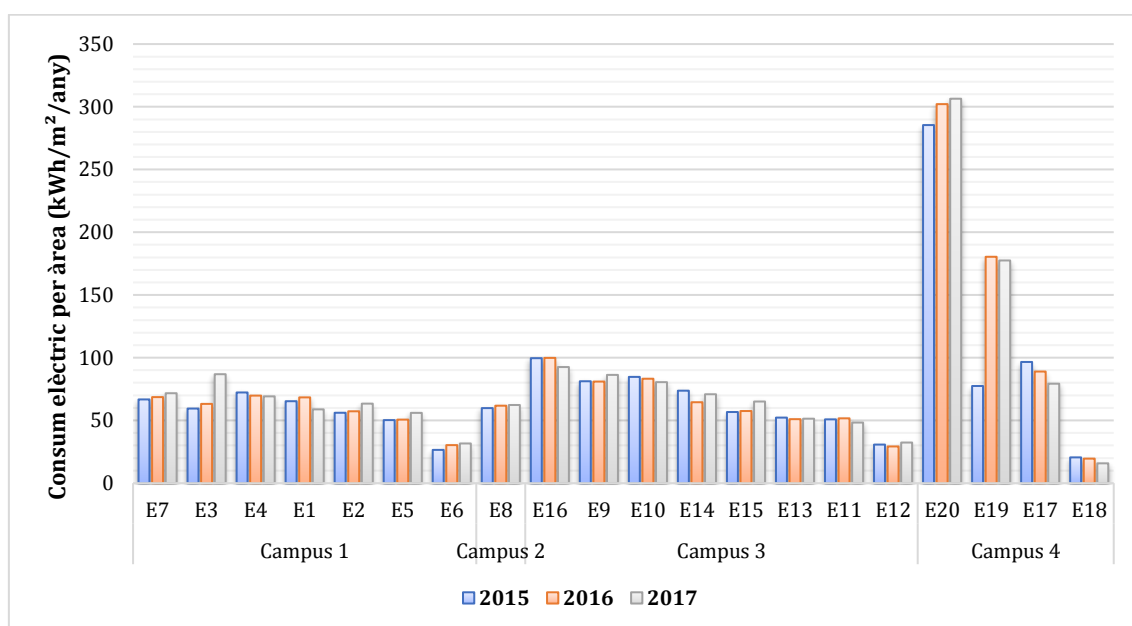


Figura 35: Consum històric anual d'electricitat normalitzat per àrea (3 anys) per cada edifici de la UdL

En la Figura 36 es mostra el consum de gas natural normalitzat per superfície construïda de tots els edificis.

S'observa un patró molt similar al del consum elèctric, tenint com a majors consumidors els edificis E19 i E20, i l'altre gran consumidor, l'edifici E8, es situa amb valors un 15% menors que la mitjana que és de 145 kWh/m<sup>2</sup>. El Campus 1 també és el que consumeix menys gas natural per m<sup>2</sup>, amb un rang de consums entre 50 i 230 kWh/m<sup>2</sup>, mentre que els consums del campus que consumeix més, el Campus 4, es situen entre 200 i 330 kWh/m<sup>2</sup>.

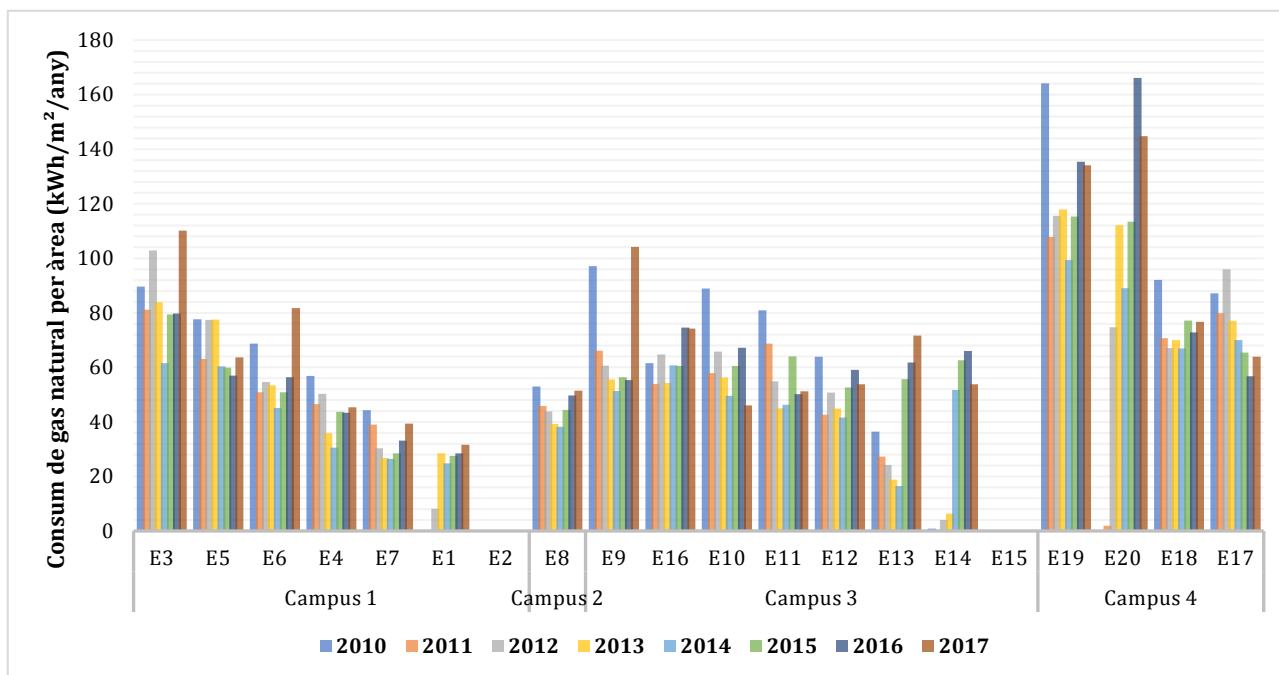


Figura 36: Consum històric anual de gas natural normalitzat per àrea (8 anys) per cada edifici de la UdL

En la Figura 37 es mostra el consum energètic total (electricitat + gas natural), normalitzat per la superfície construïda, amb dades de l'any 2017, per tots els edificis de la UdL.

Com ja s'ha comentat en aquests dos gràfics anteriors, la tendència que s'observa és la mateixa, amb valors de consum mitjà energètic de 145 kWh/m<sup>2</sup>. Excloent els edificis E19 i E20, que consumeixen grans nivells d'energia amb valors per sobre els 300 kWh/m<sup>2</sup>, la resta d'edificis de la UdL es situen entre 60 i 190 kWh/m<sup>2</sup>, comparables als valors comunicats per la Universitat Politècnica de Barcelona (UPC) per fins a seixanta edificis en diferents campus, els quals tenen uns consums energètics entre 40 i 200 kWh/m<sup>2</sup> l'any [36]. Un altre estudi per onze edificis en un campus universitari a Corea mostra intensitats de consum energètic per a gas i electricitat situats en el rang de 106-399 kWh/m<sup>2</sup> l'any [34].

S'observen grans diferències entre els consumidors més grans i més petits de cada campus de la UdL. Aquestes diferències són 68, 66 i 80% per als campus 1, 3 i 4 respectivament.

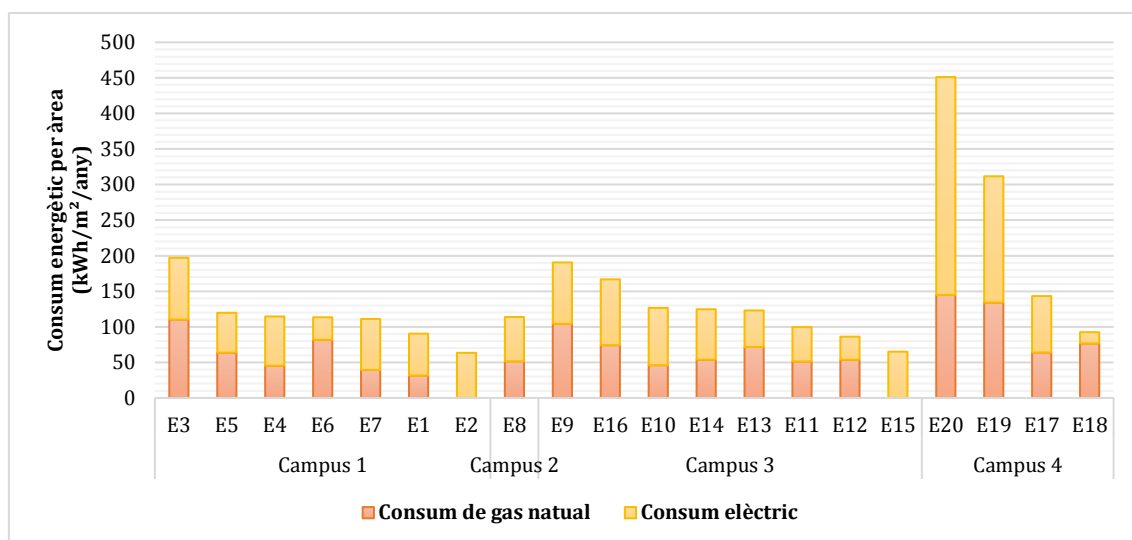


Figura 37: Consum energètic anual per superfície construïda en l'any 2017 pels 20 edificis de la UdL

Si la mateixa comparació es realitza pel nombre d'usuaris per campus segons els plans d'autoprotecció (Veure Taula 23) com a paràmetre de normalització, els resultats són diferents (Figura 38). Es posa de relleu la bretxa de consum energètic entre el Campus 4 i la resta de campus, ja que el nombre d'usuaris és relativament petit en comparació al nombre d'usuaris dels Campus 1 i 3, i el consum d'energia absoluta és més elevat.

Segons el nombre d'usuaris, que només és una estimació d'ocupació màxima del pla d'autoprotecció i evacuació de la UdL, el consum anual d'energia per usuari dels Campus 1,2 i 3 és d'entre 500 i 1150 kWh/usuari/any, mentre que el Campus 4 assoleix gairebé els 1600 kWh/usuari/any. El Campus 1 és el segon consumidor d'energia en termes absoluts, però les altes estimacions dels usuaris, superiors a 7000 persones, la traslladen a l'última posició pel que fa energia per usuari, amb una reducció del 63% respecte el Campus 4.

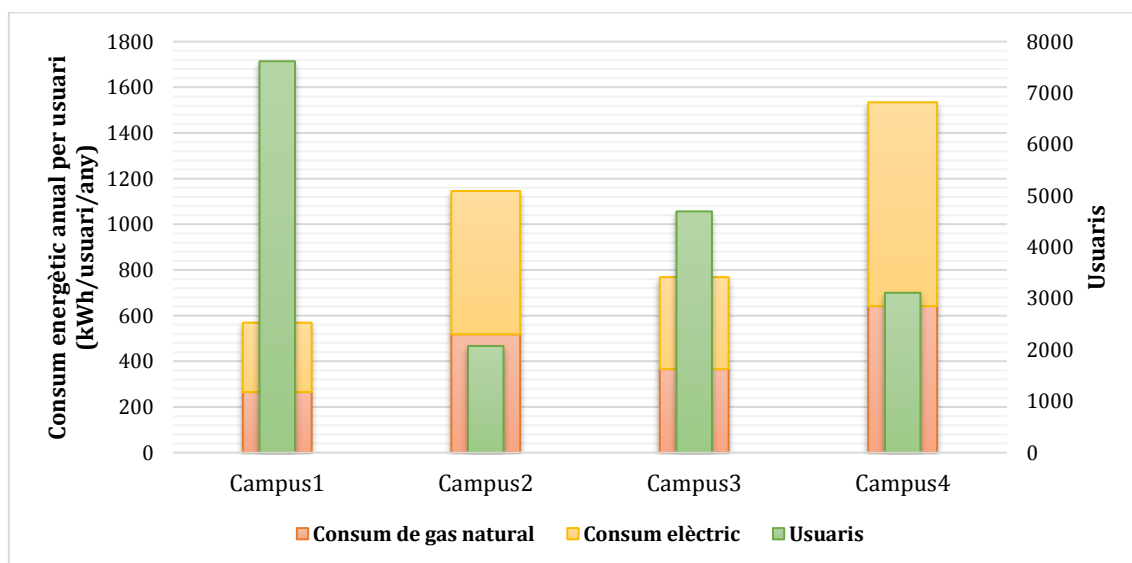


Figura 38: Consum energètic anual per usuari en l'any 2017 pels 4 campus de la UdL



La Figura 39 mostra l'evolució històrica de la producció anual d'energia renovable en els dos parcs fotovoltaics instal·lats en els campus de la UdL. La majoria dels sistemes fotovoltaics van començar a estar operatius a finals de 2010 i alguns al gener de 2011. Per aquesta raó, els valors de generació d'energia l'any 2010 són molt baixos i no s'han inclòs en la regressió lineal.

Es pot observar que els dos parcs fotovoltaics tenen una tendència decreixent en la producció d'energia fotovoltaica, amb una reducció del 2% anual. Aquesta caiguda d'eficiència anual observada, és superior a la caiguda típica del 1% de molts fabricants de cel·les fotovoltaïques i s'hauria d'estudiar més amb detall.

Els valors de radiació solar anual, durant el període de 7 anys analitzat (2011-2017), no expliquen aquest comportament. S'observa una davallada de la radiació solar en els anys 2013 i 2014, el qual pot explicar la davallada de la producció energètica, no obstant, en el 2015 i 2016 hi ha una tendència creixent de la radiació solar mentre que la producció va disminuint. L'any 2017, amb més radiació solar que els dos últims anys, si que mostra una augment de la producció d'energia fotovoltaica, tot i que aquesta continua sent inferior a la generada en el període 2011-2013. D'aquesta manera, el deteriorament de les cel·les fotovoltaïques és la raó més probable (Veure Figura 39).

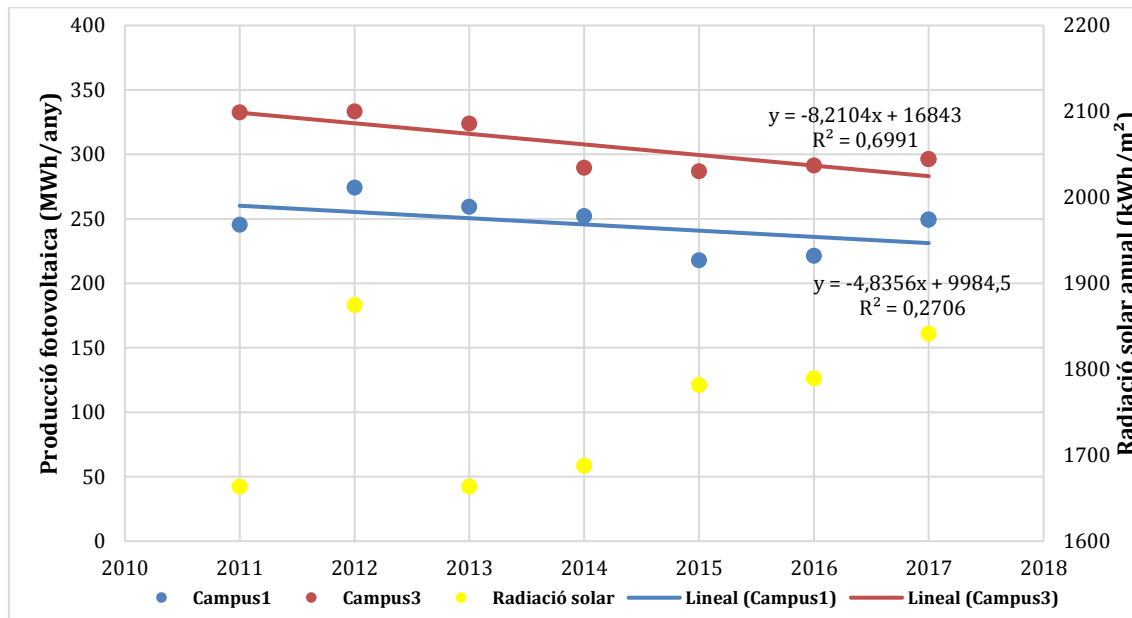
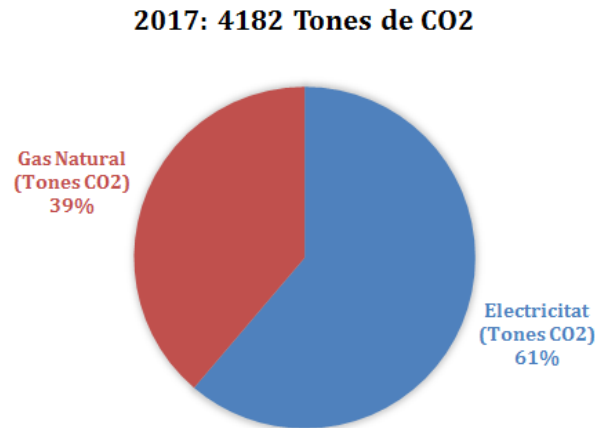


Figura 39: Producció històrica d'energia renovable, radiació solar i línies de regressió dels 2 parcs fotovoltaics amb plaques fotovoltaïques

Finalment, en la Figura 40, es pot observar el total d'emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera l'any 2017 pel consum energètic de la UdL. Per realitzar aquest estudi s'utilitzen els factors de conversió d'energia final a Kg de CO<sub>2</sub> que s'indiquen en la Taula 2. L'any 2017 es van emetre un total de 4182 tones de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera; 2560 tones generades pel consum elèctric

(consum elèctric general + refrigeració), i les 1621 tones restants, generades pel consum de gas natural (calefacció + ACS).

Així doncs, s'hauria de valorar afegir més sistemes de producció d'energia renovable per reduir les emissions de la part elèctrica, així com la implantació de sistemes de calefacció per biomassa, per reduir les emissions generades pel gas natural.



*Figura 40: Emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera l'any 2017 generades pel consum energètic de la UdL*

## 8.2 Anàlisi mensual de les dades de gas

Tal i com s'explica en la metodologia de l'anàlisi de les dades mensuals de gas natural, s'utilitza el teoria dels graus-dia per analitzar el comportament davant la temperatura ambient dels 20 edificis de la UdL.

En la Figura 41 es mostren les línies de rendiment de la calefacció per a dos edificis amb valors extrems de la pendent al campus de Cappont (Campus 1). Es pot observar que l'edifici E3 disposa de més punts que el E1. Això es degut a que l'edifici E1 disposa de dades de facturació de gas natural a partir del octubre del 2012, gairebé dos anys menys que l'edifici E3 i que la resta d'edificis.

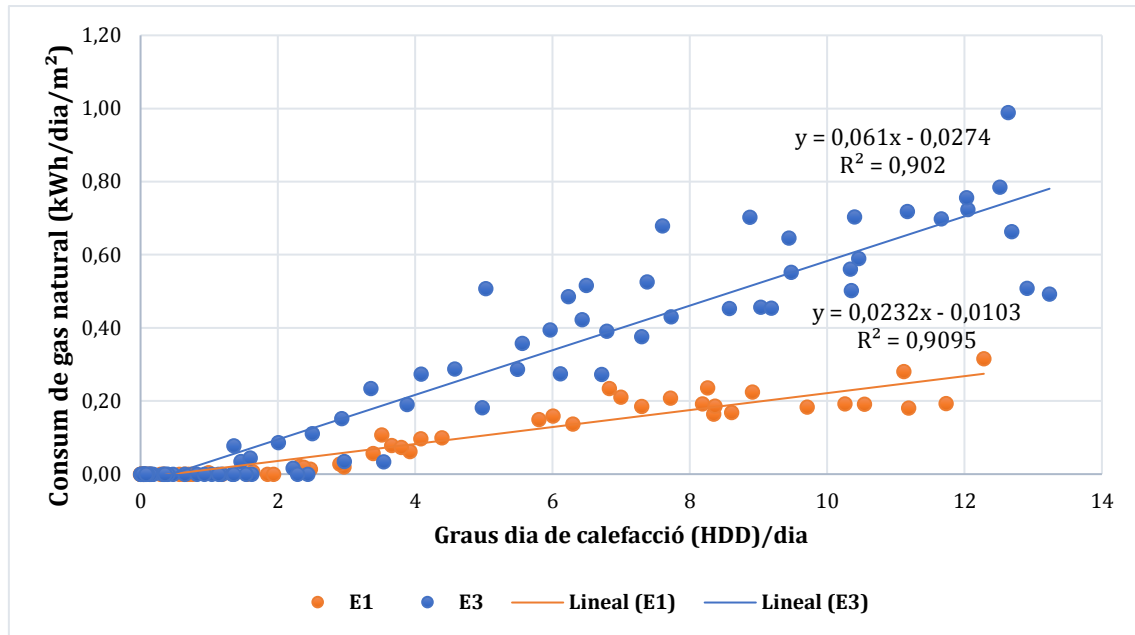


Figura 41: Línies de rendiment de la calefacció per 2 edificis (E1 i E3) del Campus 1 amb valors extrems, basat en factures de gas mensuals durant 7 anys

S'obtenen corbes similars per a la resta d'edificis (**Veure Annex 2**). Els resultats d'aquests models de regressió lineal es resumeixen en la Taula 30. Els edificis E2 i E15 no s'inclouen en l'anàlisi perquè tenen sistemes elèctrics tant per a la calefacció com per a la refrigeració. Per aquest anàlisi es disposen de 8 anys de factures mensuals, però degut a que no es tenen les dades de temperatura ambient de Lleida per l'any 2010, només s'analitza el període que va des de el 2011 al 2017 (7 anys de factures mensuals). Aquesta disponibilitat de factures mensuals ha augmentat significativament la quantitat de punts respecte a una línia de rendiment típica amb lectures de gas natural durant només 1 any. Per aquest motiu, els coeficients de determinació ( $R^2$ ) de les línies de regressió, són en general bastant alts, en la majoria dels edificis per sobre 0,8. L'única excepció és l'edifici E13, on la bondat de l'ajust és bastant baix ( $R^2 = 50\%$ ), la qual cosa suggereix que moltes de les factures mensuals de gas natural no són lectures reals, sinó que són estimacions de la companyia.

Les desviacions estàndard de les pendents ( $m$ ) de les línies de regressió obtingudes, estan en el rang 3-6%. D'aquesta manera, les diferències gairebé del triple observades entre les línies de rendiment extremes dels edificis estudiats són estadísticament significatives.

El coeficient global de pèrdues de calor per superfície construïda,  $UH = HLC/A$  ( $W/m^2 \cdot K$ ), es pot aïllar de l'Equació 4. Per determinar el seu valor cal obtenir una estimació aproximada de l'eficiència de les calderes de gas natural de tots els edificis. Tot i que cada edifici disposa d'un sistema de condicionament dels espais i calderes diferents, s'utilitza una eficiència energètica homogènia de la caldera de gas natural del 70%. Aquesta eficiència energètica es determina segons el document oficial de l'annex en les taules de certificació energètica

espanyola [54]. Es tracta d'una primera estimació de l'eficiència de les calderes en ús real, no obstant això, atesos que no hi ha mes mesures in situ disponibles, s'utilitzarà per facilitar un exemple pràctic sobre com obtenir el coeficient general de pèrdues de calor dels edificis a partir de les dades obtingudes.

Com es pot veure en la Taula 30, l'edifici E13 és el que té el valor de UH més baix, però al ser la correlació ( $R^2$ ) molt petita, no és representatiu. El següent edifici amb el valor més baix de UH és l'E1, que correspon a la biblioteca del Campus 1. D'altra banda l'E20 té el valor de UH més alt, el qual és una contradicció degut a la seva recent data de construcció. Aquest edifici alberga diferents laboratoris de medicina i es necessiten anàlisis detallats per comprendre si aquests valors elevats són deguts a les pèrdues de calor per l'envolupant tèrmica de l'edifici, al control deficient dels valors de consigna del HVAC o a les càrregues per ventilació.

L'edifici E3 del Campus 1 presenta un coeficient de pèrdua de calor bastant més elevat que l'edifici E1. Això pot significar que l'envolupant tèrmica de l'edifici E3 és pitjor i/o que l'eficiència del sistema de calefacció de l'E1 és superior. A raó que la caldera i els sistemes de calefacció en ambdós edificis són molt similars, és probable que la hipòtesi de majors pèrdues de calor per l'envolupant tèrmica de l'edifici E3 sigui una de les possibles causes, o bé també, un ajust incorrecte de la temperatura de consigna en els sistemes HVAC de l'edifici. En qualsevol cas, caldria obtenir més informació sobre l'eficiència energètica per comprendre millor les diferències en aquests dos edificis.

La resta d'edificis no comentats, tenen un valor de UH en el rang 0,8-1,5 ( $\text{W/m}^2 \text{K}$ ), trobant-se els valors més elevats en el Campus 4.

Campus	ID Edifici	Temperatura Base, $T_{hb}$ (°C)	Pendent, $m$ (kWh/m <sup>2</sup> K dia)	UH=HLC/A (W/m <sup>2</sup> K)	Punt d'intercepció, $b$ (kWh/m <sup>2</sup> dia)	$R^2$
<b>Campus 1</b>	E1	16,5	$0,023 \pm 0,002$	$0,671 \pm 0,05$	-0,010	0,909
	E3	17,5	$0,061 \pm 0,04$	$1,779 \pm 0,13$	-0,027	0,902
	E4	15,5	$0,037 \pm 0,002$	$1,079 \pm 0,07$	-0,005	0,922
	E5	16,5	$0,052 \pm 0,004$	$1,517 \pm 0,10$	-0,016	0,913
	E6	19	$0,032 \pm 0,004$	$0,933 \pm 0,11$	-0,013	0,782
	E7	15	$0,031 \pm 0,002$	$0,904 \pm 0,07$	-0,006	0,897
<b>Campus 2</b>	E8	18	$0,030 \pm 0,002$	$0,875 \pm 0,06$	-0,015	0,897
<b>Campus 3</b>	E9	18	$0,031 \pm 0,003$	$1,050 \pm 0,09$	0,019	0,876
	E10	19	$0,031 \pm 0,003$	$0,904 \pm 0,08$	-0,003	0,780
	E11	19	$0,030 \pm 0,004$	$0,875 \pm 0,10$	-0,003	0,780
	E12	19	$0,029 \pm 0,003$	$0,846 \pm 0,08$	-0,014	0,849
	E13	18	$0,017 \pm 0,004$	$0,496 \pm 0,11$	0,032	0,502
	E14	19	$0,032 \pm 0,004$	$0,933 \pm 0,12$	-0,001	0,848
	E16	18	$0,039 \pm 0,004$	$1,138 \pm 0,11$	-0,012	0,837
<b>Campus 4</b>	E17	17	$0,046 \pm 0,004$	$1,342 \pm 0,11$	0,018	0,868
	E18	17,5	$0,051 \pm 0,003$	$1,488 \pm 0,10$	-0,019	0,917
	E19	19	$0,053 \pm 0,004$	$1,546 \pm 0,12$	0,051	0,888
	E20	18,5	$0,064 \pm 0,007$	$1,867 \pm 0,21$	0,02	0,826

*Taula 30: Paràmetres de les línies de rendiment de la calefacció a partir de les dades mensuals de consum de gas natural*

En la Figura 42, es mostra la correlació entre l'UH estimada, l'any de construcció dels edificis i el numero d'usuaris estimats per edifici. Aquesta visualització gràfica mostra les línies de regressió amb els seus intervals de confiança corresponents i els coeficients de correlació de Pearson (secció superior) i les funcions de densitat de cada variable (secció inferior).

Com es pot veure, gairebé no hi ha correlació entre la UH i l'any de construcció, el que significa que el coeficient general de pèrdues de calor, incloses les pèrdues per ventilació, no són inferiors per edificis de nova construcció. A més, aquesta correlació és positiva, el qual indica que el valor de UH és superior a major valor d'any de construcció.

També es pot observar que hi ha una petita correlació negativa entre el valor de UH i el número màxim usuaris. Aquesta baixa correlació pot ser deguda a l'augment de la superfície construïda amb el numero d'ocupants, que és el denominador de la UH. De fet, tenint en compte el valors de U i les renovacions d'aire per hora, els valors teòrics de UH es fan petits en una tendència logarítmica amb la mida de l'edifici, així amb l'àrea i el número d'usuaris.

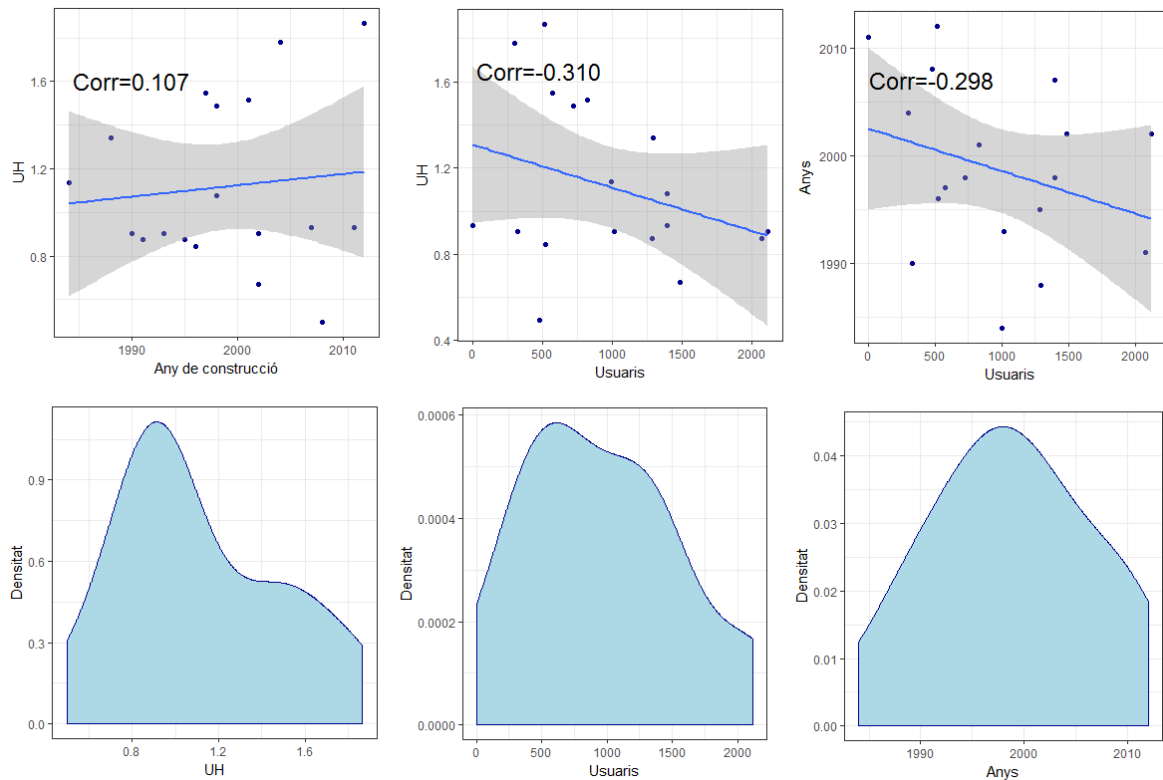


Figura 42: Correlació entre (el valor estimat de UH, l'any de construcció dels edificis i el numero estimat d'usuaris) i les densitats de cada variable

Es pot veure en la Taula 30 que tots els valors del punt d'intercepció,  $b$ , són al voltant de zero, el que significa que no hi ha consums independents del temps (càrregues base de gas natural), com podria ser l'aigua calenta sanitària.

A més dels valors de HLC, la intercepció amb l'eix  $y$  ( $b$ ) i la bonda de l'ajust ( $R^2$ ), aquesta metodologia de graus-dia ha permès determinar temperatures de base de calefacció a cada edifici universitari, que presenta valors en el rang 15,5-19 °C. Aquesta temperatura de base o balanç es defineix coma la temperatura exterior per sobre la qual l'edifici no requereix calefacció. En la Figura 43 es pot observar un exemple de la temperatura de base de calefacció per una casa convencional, i com afecta l'aïllament i els guanys interns de calor de l'edifici a aquest paràmetre.

Interpretant aquesta figura ens indica que la manera per determinar la temperatura base de calefacció és treien els guanys interns mitjans de l'edifici (típicament 3,5 °C), tot i que en aquest anàlisi no es treu aquest valor; es té en compte alhora d'analitzar-ho. Els guanys interns de l'edifici són afectats per la radiació solar, el vent, patrons d'ocupació i guanys de calor dels equipaments elèctrics existents, els quals tenen una variació al llarg de l'any com també la temperatura base. Per aquest motiu les temperatures base de calefacció que es mostren en la Taula 30 són només una aproximació.

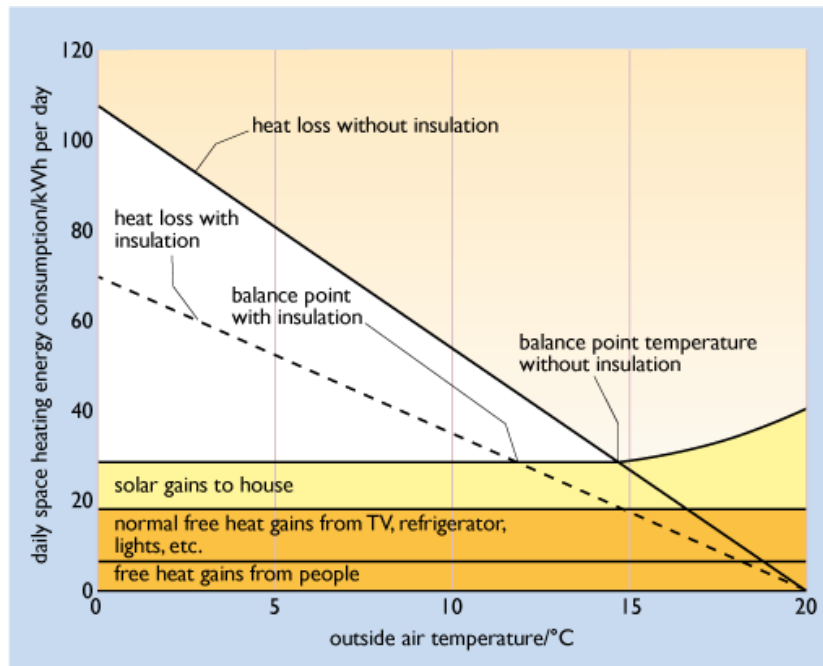


Figura 43: Requisits de calefacció diaris per una casa en base a l'aïllament i els guanys interns. Font: [55]

Les temperatures base lleugerament més altes es troben en els Campus 2, 3 i 4. Això suggereix que els edificis que componen aquests campus tenen guanys interns mitjans més petits que en els edificis del Campus 1. En el Campus , excloent l'edifici E6, les temperatures de base oscil·len entre 15,5 i 17,5 °C.

La Figura 44 il·lustra la variació de les pendent de les línies de rendiment dels edificis en els diferents campus, així com la temperatura base que es troba per a cada edifici. Els edificis del Campus 1 tenen una variació més gran en la vessant extrema (62%), mentre que els altres campus amb més d'un edifici (3 i 4) mostren una dependència meteorològica més similar, excloent el E13, amb diferències de pendent del 26 % (Campus 3) i un 28 % (Campus 4).

Així doncs, els edificis susceptibles a rebre un anàlisi amb més profunditat són els que tenen valors de pendent més alts que la mitjana ( $0,038 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{dia}$ ). Aquests són els edificis E3 i E5 del Campus 1, el E16 del Campus 3, i tots els edificis del Campus 4 (E17, E18, E19 i E20).

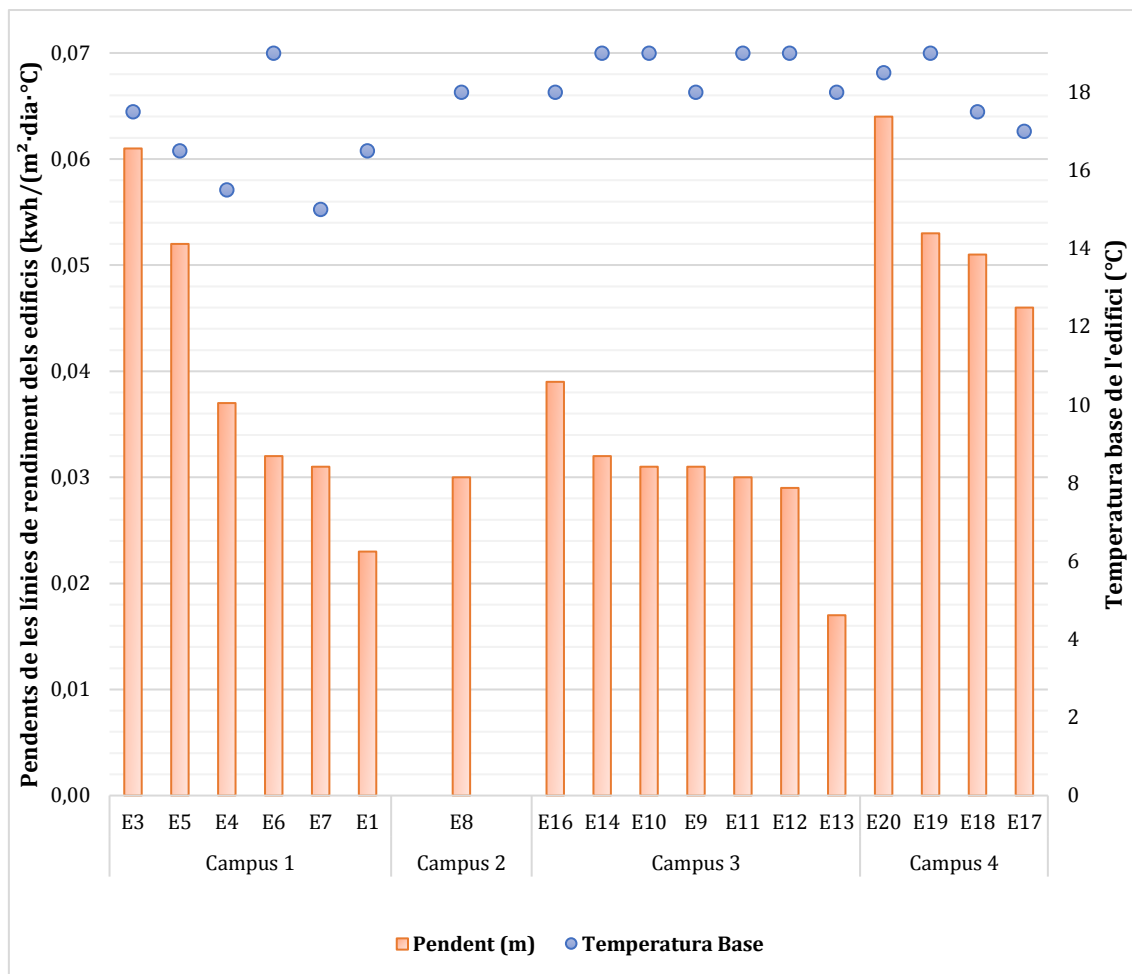


Figura 44: Comparació de les pendents de les línies de rendiments dels edificis i temperatures de base utilitzant la metodologia de graus-dia

### 8.3 Anàlisi horari de les dades elèctriques

Per analitzar les dades de consum elèctric horari pels 20 edificis de la UdL, es segueixen els passos descrits en la metodologia. Tal com s'ha dit, l'objectiu d'aquest estudi es determinar la dependència climàtica del consum elèctric, trobar les temperatures de balanç o de canvi i també trobar les eficiències dels sistemes de refrigeració.

En la Figura 45 es representa una recopilació de trames setmanals de consum elèctric horari de les 52 setmanes de l'any 2017 a l'edifici Rectorat (E8), que és el major consumidor d'electricitat. Es pot veure que a cada trama es visualitza dos franges d'un color gris que representen els dissabtes i diumenges.

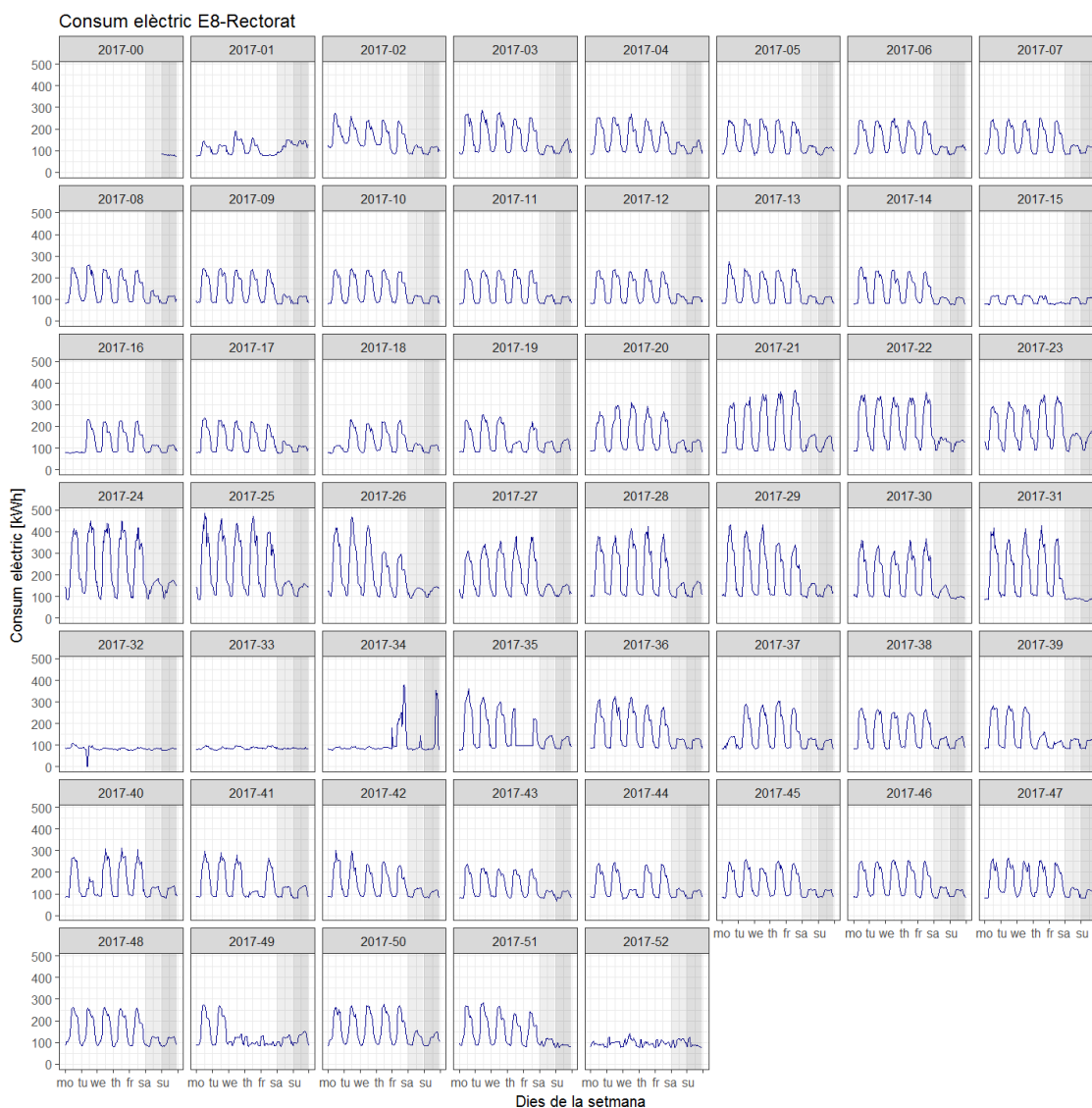
Els períodes de vacances són fàcilment identificables, amb un consum base horari entre 90-100 kWh. S'inclouen les setmanes 0, 1 i 52, corresponents a les vacances de Nadal, la setmana 15, corresponent a la Setmana Santa i les setmanes 32, 33 i 34 corresponents a les vacances d'estiu. Les festes locals i nacionals també es troben clarament identificades, per exemple, el dia 11 de maig (setmana 19), els dies 28 i 29 de setembre (setmana 39) o el dia



1 de novembre (setmana 44), entre d'altres, amb consum base horaris de 100 kWh. Els perfils elèctrics al llarg dels dies laborables sense refrigeració són molt similars, amb pics al migdia entre 200 i 300 kWh, i valls durant la nit, arribant a un consum base de 100 kWh. El comportament dels caps de setmana indica una ocupació molt baixa, amb un lleuger augment del consum base durant el dia. Això es degut a que la biblioteca i sales d'estudi que hi ha a l'edifici Rectorat obren els dissabtes.

L'activació del sistema de les refrigeradores per la temporada de refrigeració, s'observa clarament durant les setmanes 20 i 21 (maig), amb un augment significatiu dels consums elèctrics horaris, arribant a valors superiors a 400 kWh durant les setmanes de juliol (setmanes 27-30). També s'observen pics de consum, aturades o errades en les lectures, com s'observa en la setmana 32, amb una baixada sobtada, i la setmana 35 entre el 31 d'agost i el 1 de setembre, amb una parada o lectura errònia.

Per la resta d'anys analitzats (2015 i 2016), s'observen tendències similars, amb els festius que s'indiquen en la Taula 27 .



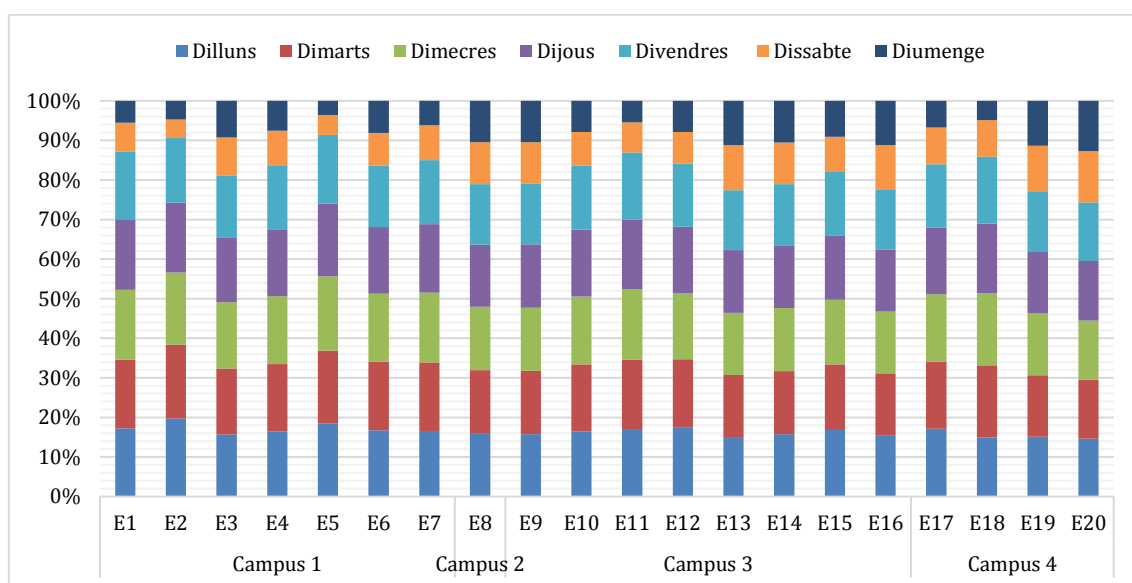
*Figura 45: Exemple de gràfic de consum mitjà elèctric horari al llarg de les 52 setmanes d'un any (2017) per l'edifici E8*

El consum elèctric als dissabtes representa gairebé el 11 % del consum anual total de l'electricitat. Es tracta d'una contribució bastant alta per un dia "sense activitat" i suggereix que es podrien aconseguir estalvis substancials d'energia amb una auditoria energètica que assenyalés consums innecessaris durant les nits, caps de setmana i períodes festius, i així aconseguir una reducció del consum base horari.

Encara que no es mostren, s'observen tendències similars a la resta d'edificis, però amb pics i consums base, segons el consum anual de cada edifici. Aquestes similituds observades en els perfils de consum durant els dies laborables, caps de setmana i festius en tots els edificis estudiats, es poden explicar perquè tots ells són gestionats per la mateixa institució i són el mateix tipus d'edificació (edificis educatius).

En la Figura 46, es mostra el percentatge que té cada dia de la setmana sobre el consum elèctric total setmanal per cada edifici. Per realitzar-ho s'han utilitzat sumatoris per tots els dies de la setmana pel període estudiat de 3 anys, i a continuació, el pes en % que tenen sobre el consum total setmanal.

El percentatge de consums d'electricitat dels dissabtes és del 4 al 11 % del consum anual total d'electricitat. Sumat al del diumenge, el percentatge de consum d'electricitat en els caps de setmana té un rang entre 10-25%, on els edificis E8, E9, E13, E14, E16, E19 i E20 tenen percentatges superiors al 20% en els caps de setmana. Aquests edificis mostren activitat durant el cap de setmana, i de fet la tenen ja que són edificis amb serveis en dissabtes i edificis on es fa recerca.



*Figura 46: Percentatge diari sobre el consum elèctric total setmanal per cada edifici en el període estudiat de 3 anys*

En la Taula 31 es mostren els principals resultats obtinguts del model de regressió segmentat pels edificis de la UdL. El núvol de punts de consum elèctric diari per superfície construïda davant la temperatura mitjana diària, s'adapten a un model 4P en els 18 edificis amb calefacció per gas natural i a un model 5P en els dos edificis (E2 i E15) amb bombes de calor tant per refrigeració com per calefacció. La taula inclou els coeficients per a la regressió lineal presentada en la secció de metodologia i el valor  $R^2$  ajustat.

La majoria dels casos tenen valors de  $R^2$  entre 0,6 i 0,85 indicant un ajust raonablement bo. Les excepcions amb un mal ajust són els edificis E3 i E6, amb valors de  $R^2$  inferiors a 0,4. El valor del paràmetre  $B_1$ , el pendent de la línia en la regió de refrigeració amb temperatures superiors a les temperatures de base de refrigeració ( $T_{cb}$ ), es troba en el rang 0,004-0,024 kWh/m<sup>2</sup> K dia, 3 cops més petit que les pendents mitjanes trobades en les línies de

rendiment de calefacció en la secció anterior. Això significa que la dependència climàtica del consum energètic per a la refrigeració és menor que la de la temporada de calefacció, probablement a causa de la major eficiència dels refrigeradors en comparació de les calderes.

Campus	ID Edifici	Model	$C$ (kWh/m <sup>2</sup> dia)	$B_1$ (kWh/m <sup>2</sup> dia K)	$B_2$ (kWh/m <sup>2</sup> dia K)	$T_{cb}$ (°C)	$T_{hb}$ (°C)	$R^2$
Campus 1	E1	4P	0,198	$0,014 \pm 0,001$	$-0,003 \pm 0,001$	16,15	-	0,631
	E2	5P	0,127	$0,016 \pm 0,002$	$-0,020 \pm 0,001$	21,54	17,03	0,815
	E3	4P	0,165	$0,020 \pm 0,003$	$-0,003 \pm 0,002$	18,68	-	0,430
	E4	4P	0,196	$0,012 \pm 0,001$	$-0,004 \pm 0,001$	16,52	-	0,717
	E5	4P	0,133	$0,017 \pm 0,001$	$-0,005 \pm 0,001$	17,32	-	0,741
	E6	4P	0,086	$0,004 \pm 0,001$	$-0,002 \pm 0,001$	17,75	-	0,247
	E7	4P	0,194	$0,011 \pm 0,001$	$-0,007 \pm 0,001$	15,66	-	0,547
Campus 2	E8	4P	0,173	$0,008 \pm 0,001$	$-0,001 \pm 0,001$	18,04	-	0,817
Campus 3	E9	4P	0,203	$0,016 \pm 0,001$	$-0,004 \pm 0,001$	17,84	-	0,677
	E10	4P	0,240	$0,008 \pm 0,001$	$0,000 \pm 0,001$	18,47	-	0,437
	E11	4P	0,163	$0,008 \pm 0,001$	$-0,001 \pm 0,001$	18,67	-	0,584
	E12	4P	0,088	$0,005 \pm 0,001$	$-0,002 \pm 0,001$	16,62	-	0,630
	E13	4P	0,133	$0,007 \pm 0,001$	$-0,001 \pm 0,001$	15,45	-	0,690
	E14	4P	0,173	$0,016 \pm 0,001$	$0,000 \pm 0,001$	18,56	-	0,805
	E15	5P	0,170	$0,004 \pm 0,001$	$-0,006 \pm 0,001$	19,91	15,92	0,490
	E16	4P	0,262	$0,015 \pm 0,001$	$-0,006 \pm 0,001$	20,79	-	0,639
Campus 4	E17	4P	0,237	$0,017 \pm 0,001$	$-0,007 \pm 0,001$	16,76	-	0,586
	E18	4P	0,040	$0,009 \pm 0,001$	$-0,001 \pm 0,001$	18,39	-	0,636
	E19	4P	0,420	$0,024 \pm 0,002$	$-0,014 \pm 0,002$	18,42	-	0,640
	E20	4P	0,759	$0,022 \pm 0,002$	$-0,011 \pm 0,001$	18,73	-	0,648

Taula 31: Resultats i paràmetres obtinguts del model "change-point" pel consum diari elèctric dels edificis de la UdL.

Els consums energètics per superfície molt més alts observats anteriorment pels edificis del Campus 4 (E19 i E20), poden explicar-se parcialment amb la major dependència del consum energètic per superfície davant la temperatura exterior (major pendent), d'aquests dos edificis, però principalment a causa de la càrrega o consum base molt més gran que tenen davant la resta d'edificis, representat pel paràmetre  $C$ , que és 2 vegades més gran que la mitjana en l'edifici E19 i gairebé 4 vegades per l'edifici E20.

Els resultats del model segmentat o change-point que es mostren en la Taula 31, en combinació amb el UH de la Taula 30, es poden utilitzar per obtenir una estimació del ratio

d'eficiència energètica (EER) del sistema de refrigeració accionat elèctricament de cada edifici. El pendent  $B_1$  del període de refrigeració del model segmentat es pot expressar com:

$$B_1 = \frac{UH \cdot 24}{EER}$$

*Equació 7*

L'EER es pot calcular aïllant-lo de l'Equació 7. Com s'ha comentat, es tracta d'una forma molt aproximada d'obtenir una estimació del valor d'EER per a cada edifici. El que es mostra en aquest treball, és un exemple pràctic sobre com determinar l'eficiència dels sistemes HVAC en funció de les dades monitoritzades intel·ligentment. Si es pogués disposar de les dades monitoritzades, únicament, de l'energia subministrada pel sistema de refrigeració, es milloraria la fiabilitat dels resultats obtinguts.

En la Figura 47 es mostra un diagrama de barres dels valors estimats d'EER per a cada edifici, així com l'histograma de freqüències. L'edifici E6 no s'ha inclòs en l'anàlisi ja que el valor de  $R^2$  del model segmentat és massa petit, i per tant, el resultat que es pugui obtenir mancaria de sentit lògic. Els edificis E2 i E15 no estan inclosos en l'anàlisi ja que la UH no es pot determinar a causa de la manca de dades mensuals de gas natural.

Com es pot veure en el histograma de la Figura 47, mitjançant una línia vertical s'indica el valor mitjà  $EER=2,21$ , sent la mitjana  $EER=2,02$ , el que significa que 11 dels 17 edificis analitzats estan per sota aquest valor. També es pot veure que només 2 edificis tenen un valor d'EER més gran que 3. Considerant que una unitat d'aire condicionat d'alta eficiència ha de tenir un EER al voltant de 2,5-3, és clar que almenys 15 edificis necessiten algunes millores en l'eficiència dels seus sistemes de refrigeració, incloent un millor control i sistemes de regulació.

Queda clar també, que els resultats obtinguts d'EER tenen una alta dependència del valor de UH, i si l'ajust del model utilitzat per trobar aquest paràmetre no és suficientment bo, el valor estimat d'eficiència energètica pel sistema de refrigeració tampoc ho serà. Tanmateix, aquests models simplificats de consum d'energia no poden captar totes les complexitats de la física real de l'edifici i s'hauria de fer anàlisis més profundes per confirmar aquestes estimacions d'eficiència en els sistemes de refrigeració.

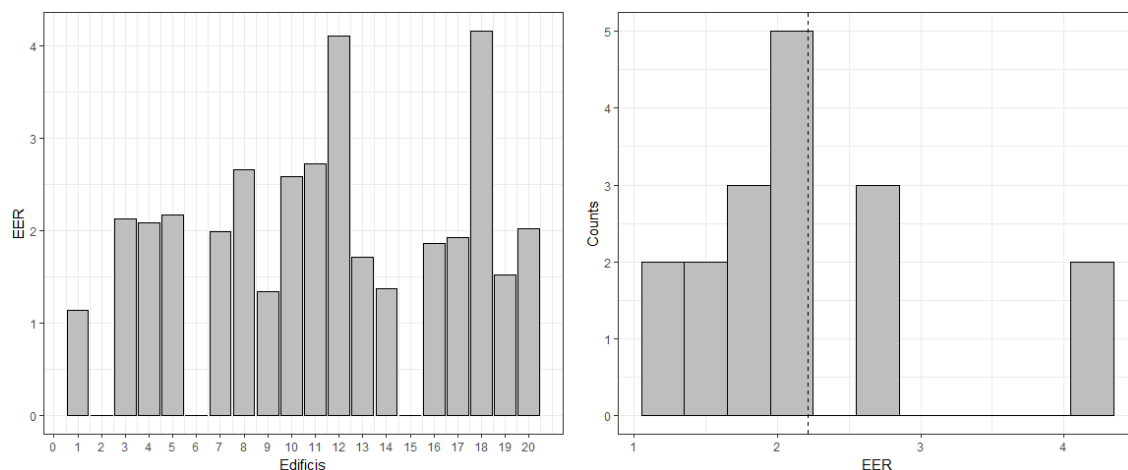


Figura 47: Diagrama de barres i histograma dels valors estimats d'EER per cada edifici

A continuació es mostra i analitza un exemple de cada tipus de model segmentat utilitzat en la anàlisi, un 4P per refrigeració, i un 5P per calefacció i refrigeració. Els edificis escollits per mostrar i analitzar són els que tenen un ajust  $R^2$  millor per cada model, per tal que es puguin extreure unes conclusions clares, ja que d'un edifici que mostri un  $R^2$  significa que hi ha molta dispersió en els punts i que les conclusions que es puguin treure no puguin ser del tot verificables.

A més, per cada model, s'analitzen les assumpcions del model lineal segmentat sobre els gràfics de dispersió, consum per superfície enfront la temperatura mitjana exterior, que s'ha utilitzat en ambdós casos, mitjançant diversos anàlisis dels residus com poden ser els gràfics de diagrama quantil-quantil normal, gràfic de l'arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats de la recta de regressió lineal, gràfic de residus tipificats enfront dels valors ajustats de la recta de regressió lineal i el gràfic de les distàncies de Cook.

La Figura 48 il·lustra el model lineal 4P resultant per als valors diaris de consum elèctric enfront la temperatura mitjana externa diària, per a l'edifici E8, al Campus 2, el qual té un coeficient de determinació  $R^2=0,817$ . En aquest anàlisi, com ja s'ha explicat en la metodologia, s'han descartat caps de setmana i dies festius, ja que l'ocupació i activitat són molt baixes. La temperatura de canvi de tendència és de 18,04 °C. Per a temperatures superiors a aquesta temperatura base de refrigeració, hi ha una dependència important del consum elèctric diari amb la temperatura exterior, principalment associada a les càrregues de refredament requerides durant l'estiu. El pendent també mostra una tendència creixent amb temperatures per sota el punt de canvi de tendència, però la dependència en aquest cas és vuit cops més petita que la dependència per sobre aquest punt. Això indica un augment del consum d'il·luminació durant els dies d'hivern i/o l'ús d'escalfadors elèctrics a les oficines per complementar la calefacció central amb calderes de gas natural.

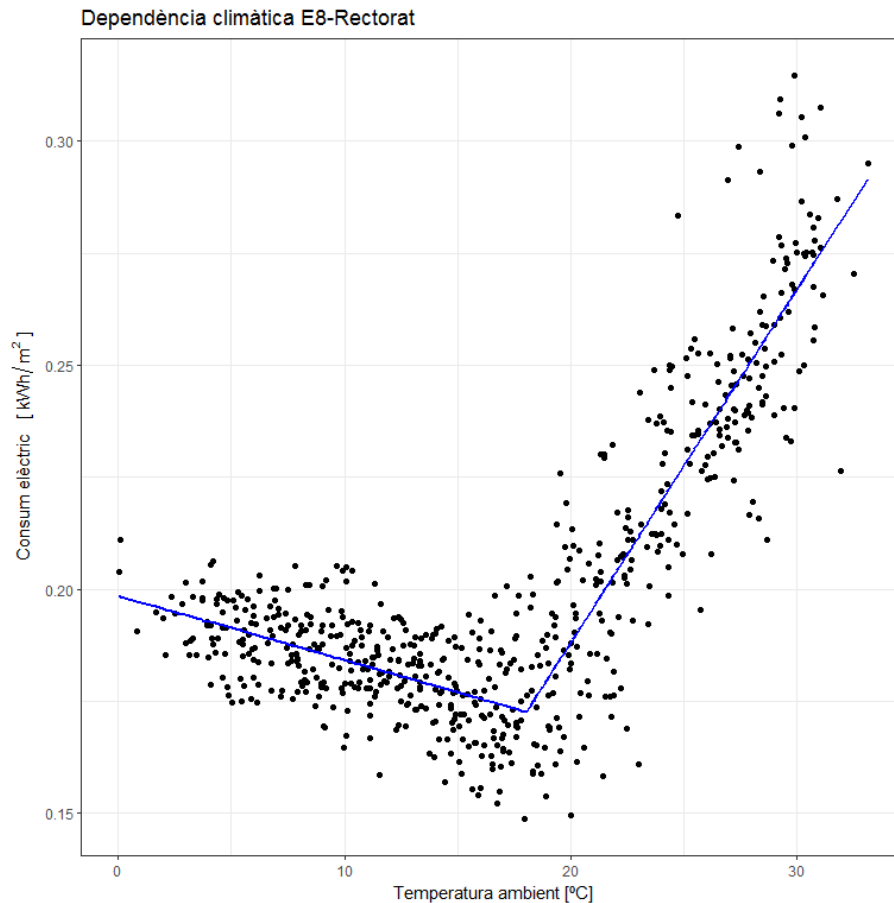


Figura 48: Regressió lineal del model 4P utilitzat en l'edifici E8 per un període de dades de 3 anys.

En la Figura 49 es mostra el diagrama quantil-quantil normal, on es pot observar que els residus sobre el model basat en aquesta recta de regressió lineal segueixen una distribució normal, tret d'alguns punts (541,545 546) que s'allunyen de la normalitat.

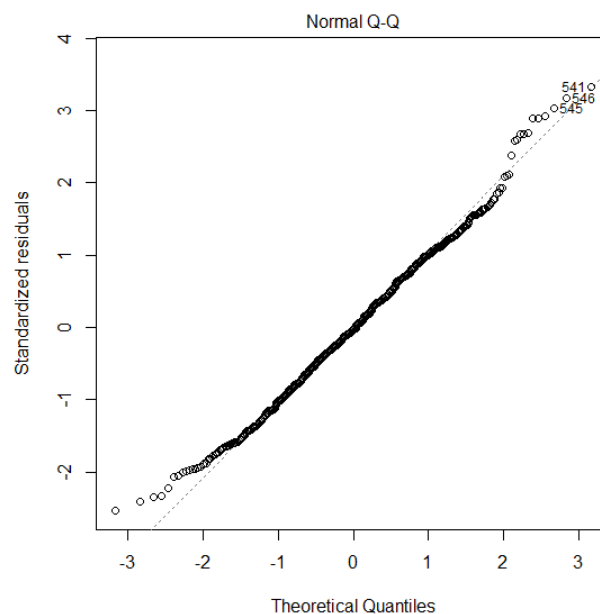
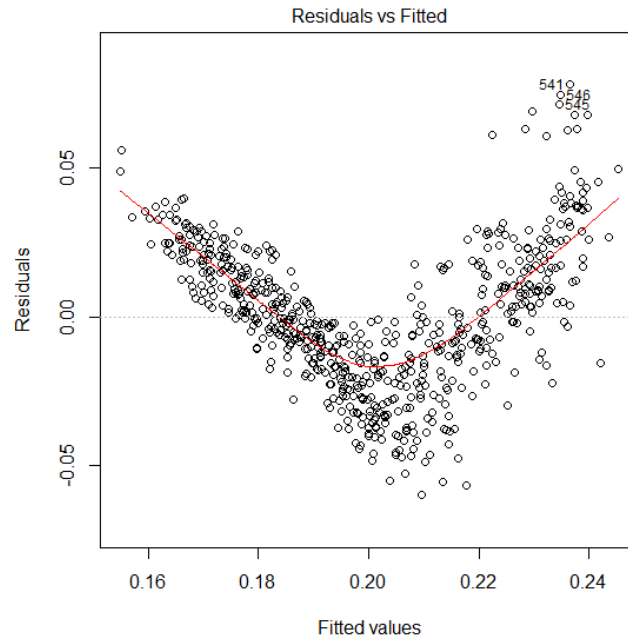


Figura 49: Diagrama quantil-quantil normal del model lineal 4P de l'edifici E8

En la Figura 50 es mostra el gràfic de residus tipificats enfront dels valors ajustats de la línia de regressió lineal. En aquest gràfic es comprova que la variància dels residus es més homogènia per a valors inferiors a 0,2 kWh/m<sup>2</sup> que per valors superiors, tot i així la mostra és pot considerar homogènia.



*Figura 50: Residus tipificats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E8*

En la Figura 51 es mostra el gràfic de l'arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats de la línia de regressió lineal. S'observa una correlació descendent entre residus i valors ajustats en el rang entre 0,16 i 0,19 kWh/m<sup>2</sup>, la qual cosa indica que el model no és adequat per a consums per superfície construïda baixos degut a un comportament no lineal que és incapaç de capturar.



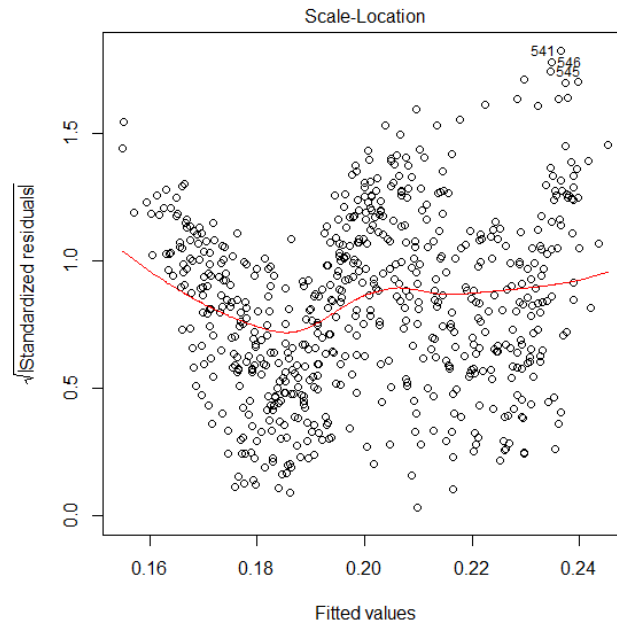


Figura 51: Arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E8

En la Figura 52 es mostra un gràfic que és útil per a identificar la presència de valors amb gran influència sobre la correlació a través del posicionament els punts en el mateix i fora de la corba “Cook’s distance”. S’observa que la gran majoria dels punts tenen poca influència amb l’excepció dels punts 541, 546 i 548. Aquests corresponen als dies 13, 20 i 22 de juny de l’any 2017 amb consums una mica elevats respecte la mitjana. Després d’analitzar-ho no s’extreuen ja que són dies laborables i no es tracta “d’outliers” (valors de lectura errònia).

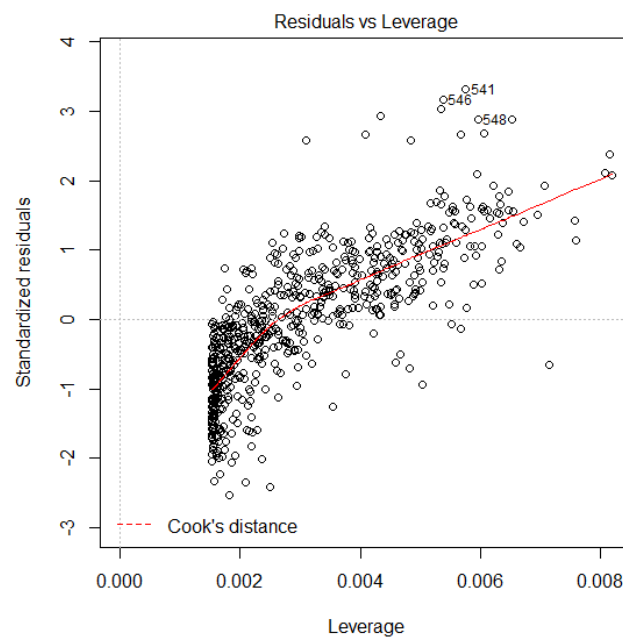


Figura 52: Gràfic de la distància de Cook pel model lineal 4P de l'edifici E8

La Figura 53 il·lustra del model lineal 5P resultant per als valors diaris de consum elèctric enfront la temperatura mitjana externa diària, per a l'edifici E2, al Campus 1, el qual té un coeficient de determinació  $R^2=0,815$ , i on s'utilitza l'electricitat tant per calefacció com per refrigeració. En aquest cas s'observen 3 regions diferents amb dos punts de canvi, a 17,03 i 21,54 °C, sent la primera temperatura la base per calefacció i la segona la temperatura base per refrigeració.

La forta dependència del consum amb la temperatura s'observa tant en les regions de refrigeració com per calefacció, tenint la regió de calefacció un pendent lleugerament més alt. Això pot indicar un COP mitjà menor de la bomba de calor durant la temporada d'hivern. La regió intermèdia representa els dies que no requereixen ús del sistema de climatització, i com és lògic, mostra una feble correlació amb la temperatura exterior.

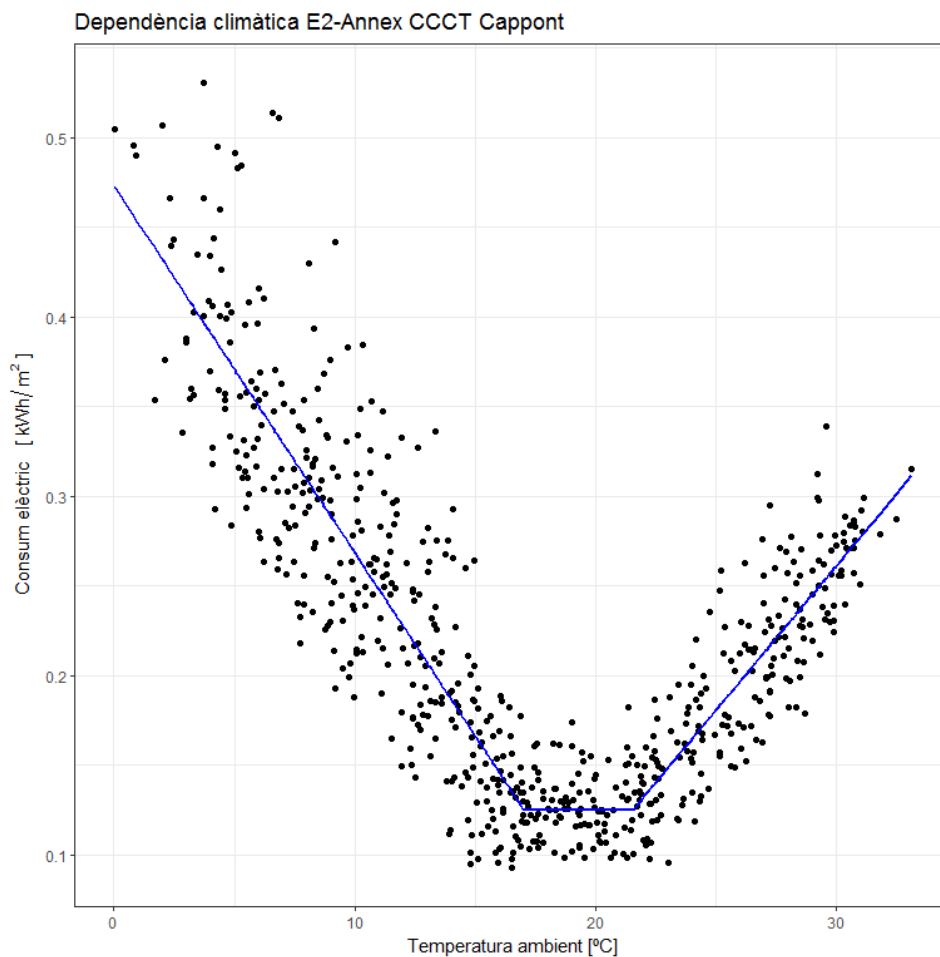


Figura 53: Regressió lineal del model 5P utilitzat en l'edifici E2 per un període de dades de 3 anys.

En la Figura 54 es mostra el diagrama quantil-quantil normal per l'edifici E2, on es pot observar que els residus sobre el model basat en aquesta recta de regressió lineal segueixen una distribució normal, tret d'alguns punts (9,24 i 644) que s'allunyen de la normalitat.

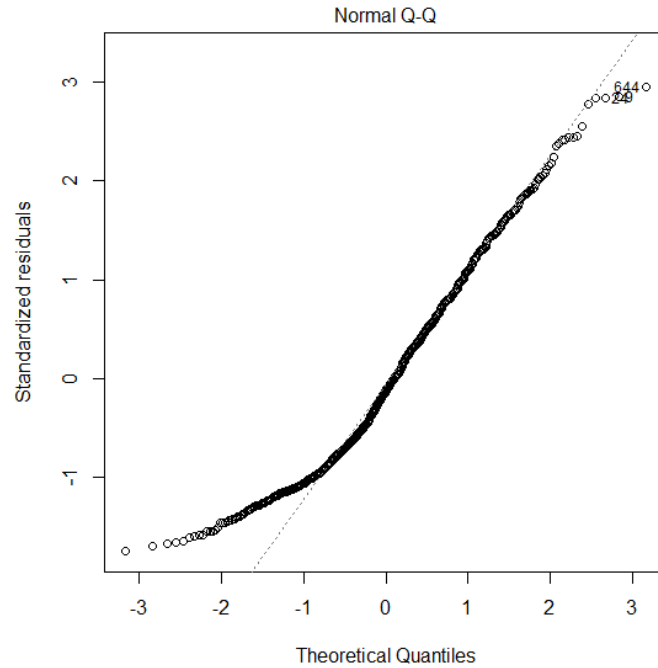


Figura 54: Diagrama quantil-quantil normal del model lineal 4P de l'edifici E2

En la Figura 55 es mostra el gràfic de residus tipificats enfront dels valors ajustats de la línia de regressió lineal per l'edifici E2. En aquest gràfic es comprova que la variància dels residus és més homogènia per a valors inferiors a 0,2 kWh/m<sup>2</sup> que per valors superiors, tot i així la mostra és pot considerar homogènia, a l'igual que el cas anterior.

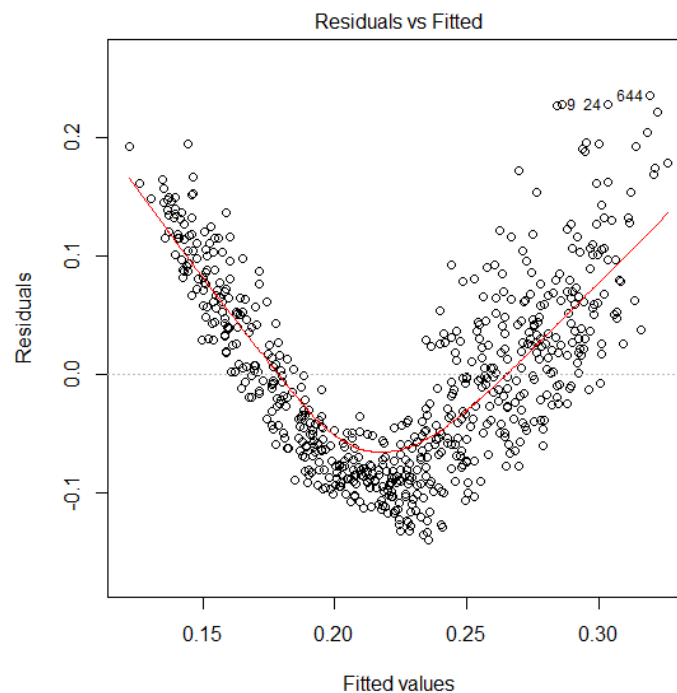


Figura 55: Residus tipificats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E2

En la Figura 56 es mostra el gràfic de l'arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats de la línia de regressió lineal de l'edifici E2. S'observa una correlació

descendent en dos trams, entre residus i valors ajustats en el rang entre 0,14-0,19 i 0,23-0,25 kWh/m<sup>2</sup>, la qual cosa indica que el model no és adequat per a consums per superfície construïda amb poca dependència de la temperatura exterior, degut a un comportament no lineal que és incapaç de capturar.

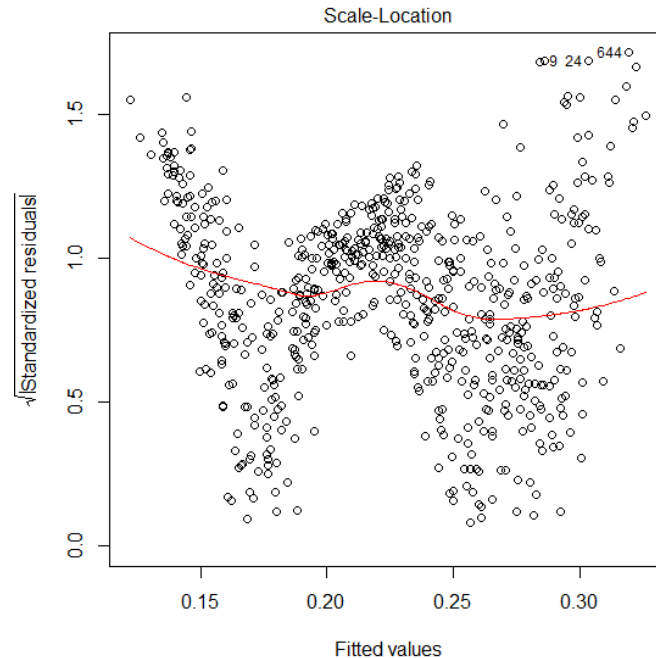


Figura 56: Arrel quadrada dels residus estandarditzats enfront dels valors ajustats del model lineal 4P de l'edifici E2

En la Figura 57 es mostra el gràfic del posicionament dels punts en el mateix i fora de la corba "Cook's distance". S'observa que la gran majoria dels punts tenen poca influència amb l'excepció dels punts 9, 24 i 644. Aquests corresponen als dies 19 de gener i 9 de febrer de l'any 2015 i el 6 de desembre de l'any 2017 amb consums elevats respecte la mitjana. Després d'analitzar-ho, els punts 9 i 24 no s'extreuen ja que són dies laborables i no es tracta "d'outliers" (valors de lectura errònia), no obstant, el punt 644 correspon a un dia festiu que no s'havia extret degut al seu consum alt, aparentment mostrant activitat. Després d'analitzar-ho, aquest dia tenia lectures errònies durant el període nocturn fent que la lectura d'aquest dia no sigui vàlida. Per aquest motiu el punt 644 s'exclou de l'anàlisi obtenint nous valors dels paràmetres de l'ajust, els quals, ja són els correctes els que apareixen en la Taula 31 i en la Figura 53.

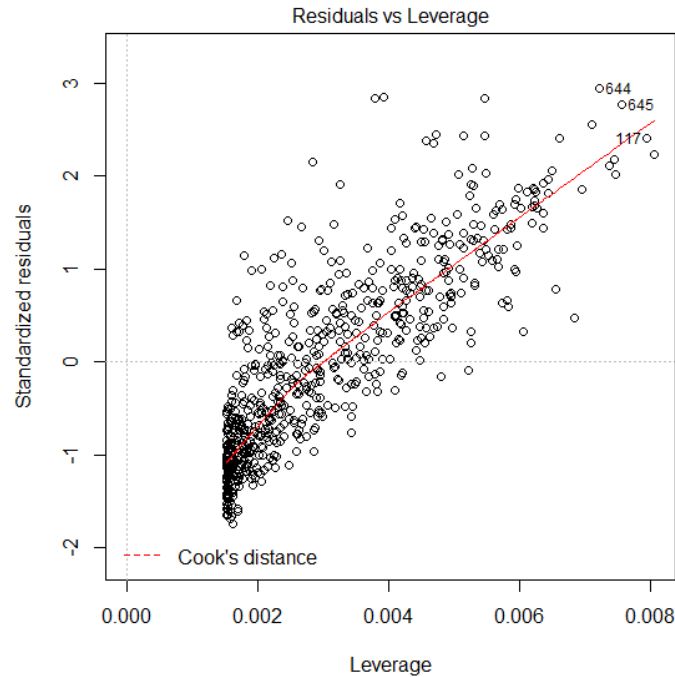


Figura 57: Gràfic de la distància de Cook pel model lineal 4P de l'edifici E2

No es mostren els resultats dels anàlisis per la resta d'edificis, no obstant, al utilitzar-se el mateix model lineal, totes les gràfiques són molt similars tot i tenir ajustos pitjors. Aquests tipus de gràfiques serveixen per detectar valors erronis, com s'ha vist en l'últim cas, analitzar la linealitat, normalitat, independència dels residus i homoscedasticitat (si el error del model ajustat sempre té la mateixa variància).

En l'**Annex 3** es mostren els models segmentats per les dades elèctriques de tots els edificis analitzats.

Finalment, en la Figura 58 s'il·lustra la variació de les pendents del model segmentat utilitzat per les dades elèctriques dels edificis dels diferents campus, així com les temperatures de canvi que es troben per cada edifici. Es pot observar que els edificis, amb més pendent per la part de calefacció (Veure Figura 44), també ho són per la part de refrigeració, sent aquests els edificis E3 i E5 del Campus 1, E16, E14 i E9 pel Campus 3 i els edificis E19 i E20 del Campus 4. Això significa que aquests edificis són molt sensibles a un canvi de la temperatura exterior, probablement degut a la mala qualitat de l'envolupant de l'edifici, uns sistemes de climatització amb baix rendiment o bé a un mal ús dels paràmetres de consigna de climatització. Aquests edificis susceptibles a rebre un anàlisi amb més profunditat són els que tenen valors de pendent més alts de  $0,02 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{dia}$ .

També s'observa que les temperatures de canvi per refrigeració estan en el rang  $15,5\text{-}21 \text{ }^\circ\text{C}$ , sent aquestes força baixes per ser un punt de consigna per la utilització dels equips de refrigeració. Això pot significar que els edificis amb temperatures més baixes, és que tenen

guanys de calor més importants. No obstant, aquest valor de temperatura hauria de ser més elevat i s'hauria de realitzar un anàlisi més detallat de les temperatures de consigna que s'utilitzen en els edificis i si aquestes són adequades.

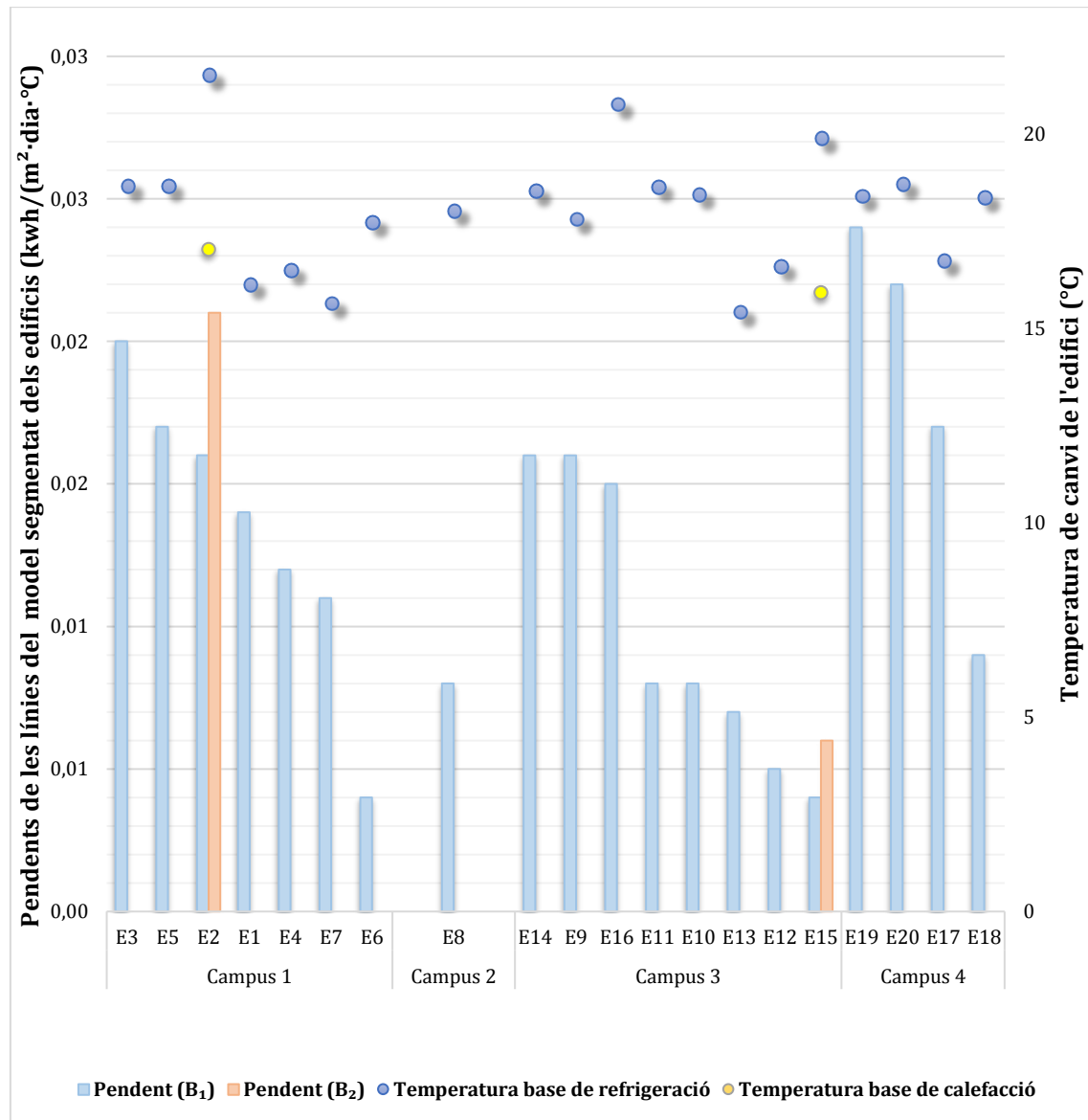


Figura 58: Comparació de les pendents del model segmentat i temperatures de canvi per les dades elèctriques dels edificis de la UdL

## 9. Nivell d'acompliment dels objectius NZEB

En aquest apartat es realitza un anàlisi del compliment o fracàs dels quatre requisits proposats en el projecte prEN ISO/DIS 52001-1. Aquest pas és útil per visualitzar si els edificis analitzats es troben prop o lluny de complir les exigències marcades pels quatre requisits proposats, els quals s'expliquen a continuació.

### 1er requeriment: Qualitat de l'envolupant de l'edifici

La normativa espanyola d'edificació existent no incorpora un llindar màxim en relació al coeficient general de pèrdues de calor. A més, el coeficient de pèrdua de calor estimat per superfície construïda (UH), no es pot comparar a un coeficient general de pèrdues de calor, a causa que en el coeficient UH s'inclouen les pèrdues per ventilació i infiltració. La superfície construïda hi és relacionada, però no és la mateixa superfície a la qual fa referència el coeficient general de pèrdues de calor.

A causa d'aquestes limitacions, aquest primer pas no es verifica en aquest treball. En qualsevol cas, la majoria dels edificis es van construir sota normes menys estrictes en termes de valors del coeficient general de pèrdues de calor  $U$  de les parets inferiors, en comparació dels actuals. Per exemple, per la zona climàtica de Lleida (D3), el valor  $U$  de les parets hauria de ser inferior a  $0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  i el valor  $U$  pels sostres inferior a  $0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . És probable que els valors  $U$  dels edificis de la UdL, siguin més alts que els llindars espanyols actuals, i probablement molt més alts que els llindars que s'establiran pels edificis NZEB a Espanya.

Així, la probabilitat que tots els edificis estudiats de la UdL no compleixin amb el mínim valor de coeficient general de pèrdues de calor, és molt alta.

### 2on requeriment: Consum total d'energia primària

En referència al consum total d'energia primària, els llindars del màxim valor d'aquest, encara no està definit en la regulació espanyola de construcció. No obstant, al desembre del 2016, el Ministeri de Desenvolupament va publicar un document per actualitzar la metodologia per avaluar edificis d'alta eficiència [27]. Aquest document suggereix alguns llindars basats en els definits en la Recomanació de la Comissió (UE) 2016/1318 de juliol de 2016 [56].

En aquest document es mostren diferents llindars segons diferents zones climàtiques de la UE. Per a la ciutat de Lleida, que es troba dins de la regió continental (Zona 3), els llindars màxims són  $85\text{-}100 \text{ kWh/m}^2\text{any}$  per al consum total d'energia primària per a edificis comercials i d'oficines. Dintre d'aquest límit, la contribució no renovable està en el rang 45-

55 kWh/m<sup>2</sup> any i la contribució renovable de l'energia primària ha d'estar en el rang de 45 kWh/m<sup>2</sup> any.

Aquestes xifres, representen una contribució de fonts d'energia renovables *in situ* amb un percentatge sobre l'energia primària total d'entre 45-52 %. Realitzant un balanç d'energia primària, obtingut com la diferència entre l'energia primària no renovable (45-55 kWh/m<sup>2</sup> any) i la part d'energia renovable (45 kWh/m<sup>2</sup> any), es troba un rang entre 0-10 kWh/m<sup>2</sup> any.

Per avaluar el compliment dels límits màxims per al total d'energia primària, es calcula la intensitat energètica primària per a cada edifici. El mètode per determinar-lo segueix el procediment definit en l'estàndard general de l'EPBD: l'energia primària total es calcula com el consum final de gas natural, multiplicat pel seu factor d'energia primària, sumat a la multiplicació del factor d'energia primària per a l'electricitat per la diferència entre el consum final d'electricitat i la producció solar fotovoltaica. A Espanya, els factors energètics primaris estan definits en el Codi Espanyol per Instal·lacions Tèrmiques (RITE) [15], i recollits per a tots els tipus de fonts d'energia en la Taula 1.

No obstant, en la Taula 32 es resumeixen els factors d'energia primària per a cada font d'energia d'aquest cas.

Energia	Font	Ús	Pas	$F_{p,ren}$	$F_{p,nren}$
Electricitat	Xarxa	Consum	A	0,414	1,954
Electricitat	In-situ	A la xarxa	A	1,000	0,000
Electricitat	In-situ	Consum	A	1,000	0,000
Electricitat	In-situ	A la xarxa	B	0,414	1,954
Gas natural	Xarxa	Consum	A	0,005	1,190

Taula 32: Factors d'energia primària definits en la normativa espanyola. Font: [15]

La diferència entre el pas A i el pas B es defineix en l'EPBD, i la principal diferència entre aquests dos procediments es relacionen amb el mètode per avaluar l'electricitat lliurada a la xarxa. El pas A assumeix que l'energia produïda en el lloc és consumida per l'edifici en el mateix pas de temps i s'utilitza per als serveis de rendiment energètic de l'edifici (EPB), com poden ser il·luminació, refrigeració i calefacció. El pas B suposa que si hi ha un excedent d'energia, es consumeix en una primera instància, per a altres serveis (no EPB) i després es lliura a la xarxa. En el pas B d'aquesta energia subministrada es defineixen dos components, l'energia "exportada a la xarxa", que és el superàvit exportat permanentment a la xarxa, i el "exportat temporal" que es tornarà a distribuir a l'edifici en un altre pas temporal, per compensar una escassetat. Els passos A i B estan controlats pels coeficients  $K_{exp}$  i  $K_{del}$ , que



poden adoptar valors de 0 a 1. En aquest cas d'estudi, ja que l'energia generada pels sistemes fotovoltaics és relativament petita en comparació del consum global d'energia dels edificis, el pas B no s'utilitzarà i només es considerarà necessari el pas A.

En la Figura 59, es mostra el consum total d'energia primària calculat per cada edifici. Les línies vermelles horitzontals representen el llindar màxim estimat per a la regulació espanyola de construcció. Com es pot veure, els edificis E2, E12, E15 i E18 tenen valors de consum d'energia primària total propers al llindar màxim (150,11, 126,63, 154,08 i 129,01 kWh/m<sup>2</sup> any, respectivament). També es pot observar que els edificis E19 i E20 del Campus 4, estan molt lluny del concepte NZEB. Aquests valors tant alts d'energia primària indiquen que no són de l'EPB, com poden ser laboratoris específics, els quals tenen un impacte crític sobre el rendiment energètic d'aquests edificis. Per aquest motiu, com s'ha comentat en apartats anteriors, aquests edificis requereixen d'un anàlisi més específic.

Els altres 14 edificis analitzats tenen energies primàries totals al voltant 2,5-3 vegades més altes que els llindars màxims, sent la mitjana de l'energia primària total de tots els edificis analitzats de 262,8 kWh/m<sup>2</sup> any. Això indica que s'han de realitzar moltes millores per assolir els objectius NZEB.

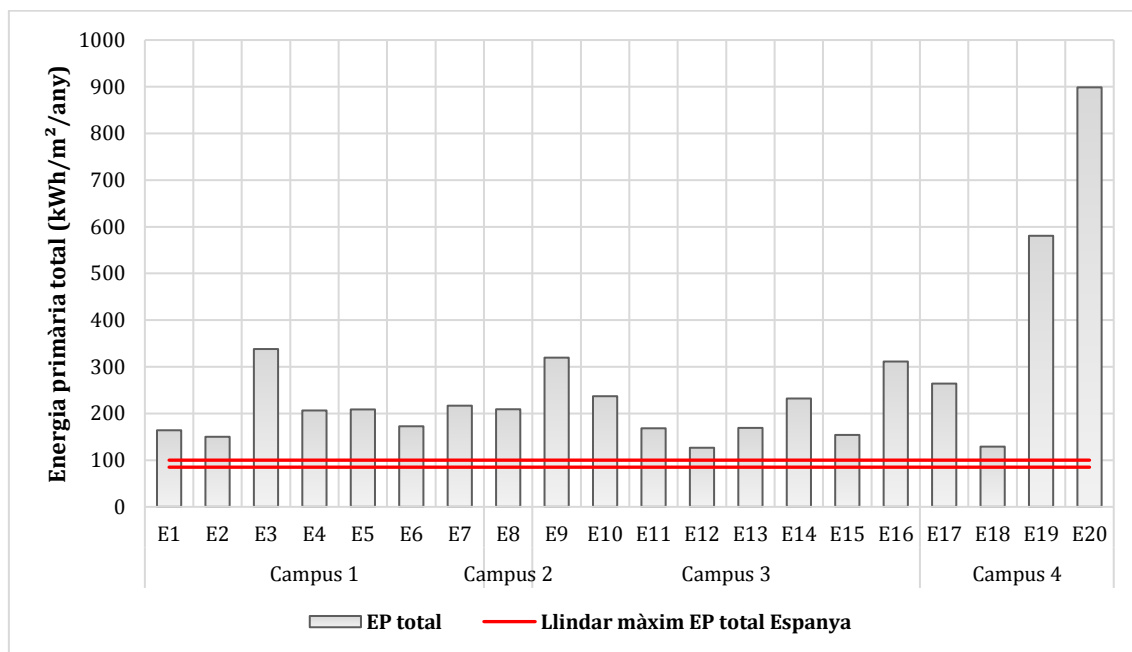


Figura 59: Energia primària total per cada edifici i llindar màxim estimat per la nova regulació espanyola

En la Taula 33 es mostren diferents llindars màxims de consum d'energia primària per edificis no-residencials per a construccions noves i existents, amb la zona climàtica per cada país definida en [56]. Es pot observar que pels països inclosos en les zones climàtiques 1 i 2 de la UE, encara no tenen cap definició oficial per NZEB.

País	Zona climàtica UE	Llindar d'energia primària per noves construccions (kWh/m <sup>2</sup> · any)	Llindar d'energia primària per construccions existents (kWh/m <sup>2</sup> · any)
Àustria	3	160	200
Dinamarca	4	25	25
França	4	50	110
Eslovàquia	3	96	96
Eslovènia	3	70	100
Irlanda	4	45	150
Letònia	5	95	95
Suècia	5	120	120

Taula 33: Llindars d'energia primària per diferents països de la UE amb definició oficial per NZEB. Font: [57]

En la Figura 60 es mostra el consum total d'energia primària pels edificis E1-E18, i amb línies horitzontals, els llindars màxims d'energia primària per diferents països de la UE amb definició oficial per NZEB. Per aquest anàlisi s'exclouen els edificis E19 i E20, degut a que superen amb escreix els llindars màxims.

Com es pot observar, hi ha 12 edificis (inclosos E19 i E20) que superen el llindar màxim definit de 200 kWh/m<sup>2</sup> any, aquests són E3, E4, E5, E7, E8, E9, E10, E14, E16 i E17. També s'observa que hi ha 3 edificis que estan per sota el següent llindar menys restrictiu (Irlanda), aquests són el E2, E12 i E18. La resta d'edificis estan per sobre aquest llindar i la resta de llindars més restrictius que estan en el rang 25-120 kWh/m<sup>2</sup> any. Per tant, els edificis estan lluny de complir els llindars estimats d'Espanya com la de resta de països de la UE.

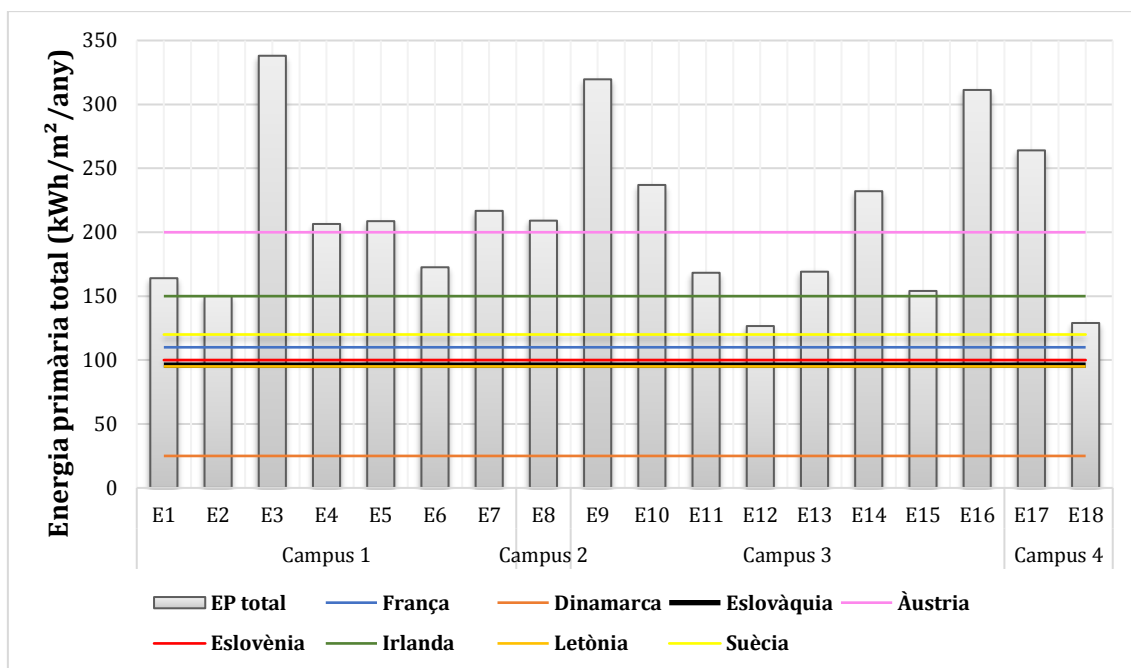


Figura 60: Energia primària total pels edificis E1-E18, i amb línies horitzontals, llindars màxims d'energia primària per diferents països de la UE amb definició oficial per NZEB

### 3er requeriment: Energia primària no renovable

Com s'ha comentat anteriorment, el llindar màxim per la part o porció d'energia primària no renovable ha d'estar en el rang 45-55 kWh/m<sup>2</sup> any. En la Figura 61, es mostren les dos components d'energia primària, la part renovable i la no renovable. La línia vermella correspon al llindar màxim de energia primària no renovable, mentre que la línia negra correspon a la contribució mínima d'energia primària renovable.

Com es pot veure en la Figura 61, els edificis amb el menor consum d'energia primària no renovable; no obstant, els seus valors (97,99 i 107,55 kWh/m<sup>2</sup> any) són gairebé 2 vegades més gran que el màxim llindar de la part no renovable. De nou els edificis E19 i E20 són els que tenen pitjor rendiment energètic. El valor de les resta d'edificis oscil·la entre 123 i 301 kWh/m<sup>2</sup> any, que és al voltant de 3-5 vegades més grans que el llindar màxim de la part d'energia primària no renovable.

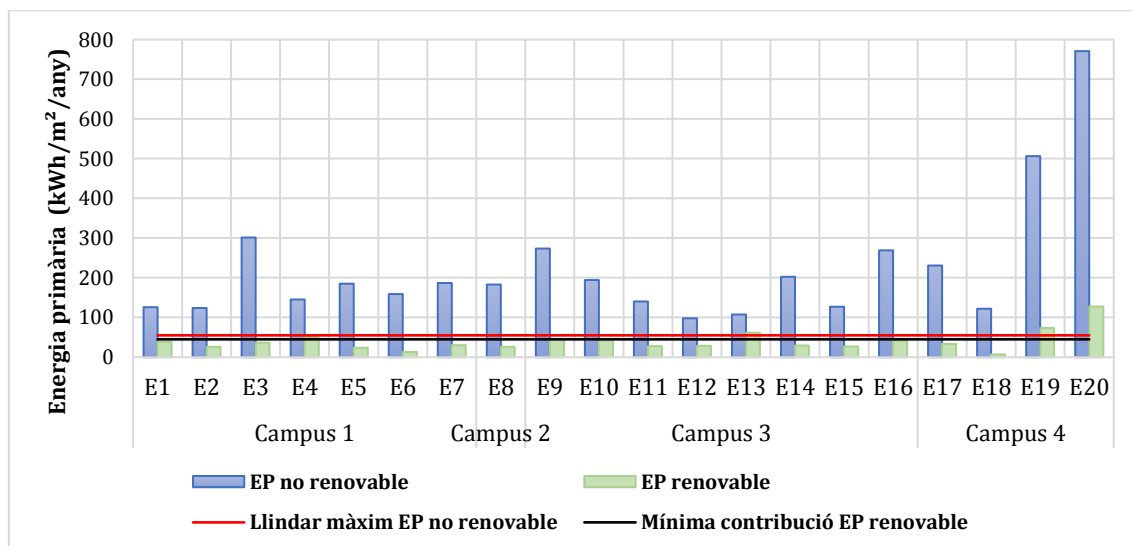


Figura 61: Energia primària renovable i no renovable calculada per cada edifici

### 4rt requeriment: Energia primària renovable i balanç NZEB global

Tal com s'observa anteriorment en la Figura 61, hi ha 5 edificis que compleixen amb la mínima contribució d'energia primària renovable, aquests són l'edifici E4, E9, E13, E19 i E20, els quals són alguns dels edificis que disposen de plaques fotovoltaiques en els seus sostres. Els edificis E19 i E20, els quals no tenen plaques fotovoltaiques, compleixen amb aquesta mínima contribució però també són els que tenen un valor més alt d'energia primària no renovable. Això es degut a que els factors definits a Espanya inclouen un percentatge alt de renovables (17 %) provinents de la xarxa elèctrica i per aquest motiu els edificis E19 i E20 del Campus 4 compleixen amb la contribució mínima d'energia primària renovable.

No obstant, si es calcula el percentatge d'energia generada in situ per fonts renovables, excloent la part de renovable que prové de la xarxa elèctrica, en la Figura 62 s'observa un valor màxim de contribució in-situ de fonts d'energia renovable de 39,9 % en l'edifici E13; gairebé el valor establert de 45-52 %, per la normativa espanyola de construcció. Els altres edificis amb generació in-situ tenen aportacions diverses entre el 3 i 15 %.

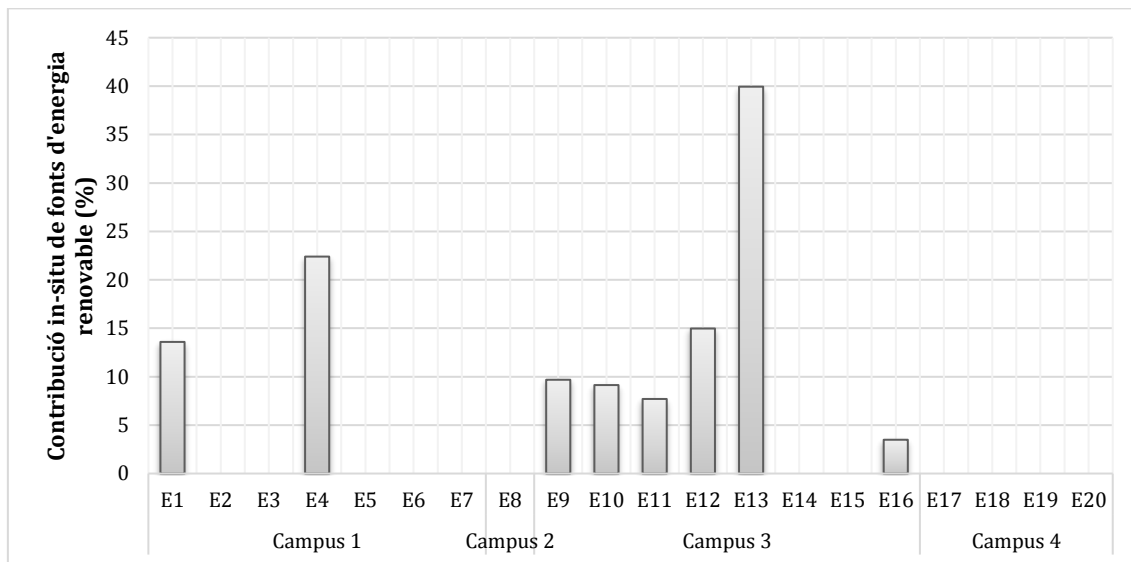


Figura 62: Percentatge d'energia primària renovable generada in-situ per cada edifici

En la Figura 63 es mostra el balanç global d'energia primària per a cada edifici. Aquest balanç resulta de la diferència entre energia primària no renovable i l'energia primària renovable. Com es pot veure, només l'edifici E13, amb un balanç d'energia primària de 46 kWh/m<sup>2</sup> any, és prop del saldo o llindar de balanç NZEB de 10 kWh/m<sup>2</sup> any. La resta d'edificis estan lluny d'aquest llindar amb valors en el rang 69-643 kWh/m<sup>2</sup> any.

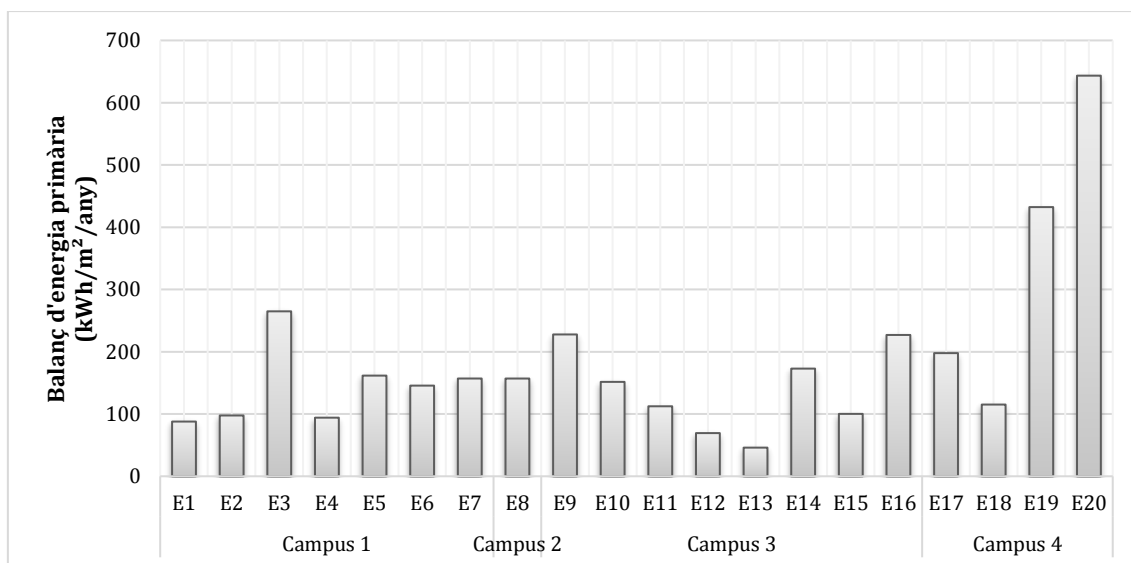


Figura 63: Balanç global d'energia primària per cada edifici

Així doncs, els objectius NZEB queden molt lluny pel que s'ha pogut veure en gairebé tots els edificis de la UdL, excloent l'edifici E13, que degut a la seva gran generació in-situ d'energia solar fotovoltaica i baix consum d'energia primària, queda prop dels objectius estimats per la nova regulació espanyola de construcció.

## 10. Conclusions i propostes de millora

Els diversos problemes energètics als que s'enfronten els països membres de la Unió Europea, entre el que es troba Espanya, urgeixen a realitzar una sèrie de plans d'actuació conjunta i mesures de notable urgència amb l'objectiu de reduir la contaminació, l'efecte de canvi climàtic, l'esgotament dels recursos naturals i la dependència energètica de l'exterior.

Com ja s'ha analitzat, aproximadament un 40 % del consum d'energia primària de la UE pertany al sector de l'edificació, i es per això que a partir de la Directiva Europea 2010/31/UE es defineix el concepte d'edifici de consum gairebé zero (NZEB) i es proposen una sèrie d'objectius graduals per aconseguir reduir de manera substancial el consum energètic i augmentar el pes de les energies renovables. No obstant, s'ha pogut veure que el desenvolupament de definicions, plans i objectius és desigual entre els diferents països europeus, com és el cas d'Espanya, on encara no hi ha una definició oficial per NZEB. Això comporta una demora en la consecució dels objectius marcats pel 2020, de cara a generar una transformació del model actual a un altre més sostenible i eficient.

En els següents punts, es comenten les conclusions generals dels resultats obtinguts amb la metodologia aplicada per les dades mensuals de gas, la metodologia per les dades horàries d'electricitat i l'acompliment dels objectius NZEB. També es proposen una sèrie de millores sorgides de l'anàlisi dels resultats obtinguts, i finalment, es proposen línies futures d'investigació.

### 10.1 Conclusions generals

Les metodologies utilitzades per analitzar els 20 edificis de la Universitat de Lleida (UdL), han estat útils per a:

- Avaluar el rendiment energètic dels campus universitaris.
- Extreure les principals característiques energètiques de cada edifici universitari analitzat.
- Determinar el grau d'acompliment dels requisits NZEB senyalats per l'estàndard EPBD presentat anteriorment.

Les principals conclusions que es poden extreure sobre l'estudi són:

- S'observen grans diferències entre els edificis de la UdL, tant en termes absoluts de kWh/any com en termes relatius kWh/m<sup>2</sup> any.

- A excepció dels edificis del Campus de Ciències de la Salut (Campus 4), els rangs de consum energètic de la UdL (60-190 kWh/any), són similars als rangs de consum en la Universitat Politècnica de Barcelona (UPC) (40-200kWh/any).
- S'observa un lleuger augment del consum de gas natural anual normalitzat per graus dia, en tots els campus, al llarg del període estudiat. Aquesta tendència a l'alça del consum va en contra de l'assoliment dels objectius ambiciosos d'eficiència energètica. Cal determinar la causa d'aquesta tendència i revertir-ho en els anys següents.
- S'observa una reducció de l'eficiència del 2 % per any a les instal·lacions fotovoltaïques de la UdL, el qual és superior al 1 % estipulat pels fabricants. La causa probable d'aquesta reducció és el deteriorament de les plaques fotovoltaïques, el qual hauria de ser verificat i abordat correctament.
- El consum d'electricitat durant les hores sense cap activitat ni ocupació de l'edifici, a les nits, caps de setmana i festius és alt. Per tant, es podria estalviar gran quantitat d'energia elèctrica i aconseguir estalvis amb una auditoria energètica que indiqui els consums innecessaris (com el consum per stand-by) durant aquests períodes i així reduir la càrrega o consum base de l'edifici.
- Les temperatures de l'aire exterior es correlacionen bé amb el consum mensual de gas natural utilitzant el mètode de graus-dia. S'observen importants diferències dels coeficients de pèrdua de calor entre edificis amb valor de UH entre 0,5-1,9 W/m<sup>2</sup> K. També es determina la temperatura base de calefacció, la qual es troba en el rang 14,5-19 °C.
- S'utilitza el consum agregat diari d'electricitat juntament amb la temperatura mitjana diària exterior per trobar els models lineals 4P i 5P per als edificis de la UdL. Es troben temperatures base per refrigeració en el model 4P i temperatures base de calefacció en el model 5P, en el rang 15,5-21,5 °C.
- S'observen diferències entre les qualitats dels ajustos entre les dos metodologies. En la metodologia utilitzada amb les dades mensuals de gas es troben coeficients de determinació ( $R^2$ ) amb un valor mig de 0,85. En canvi en la metodologia utilitzada

per les dades elèctriques es troba un valor de coeficient de determinació mig de 0,62.

Això es degut a que les dades elèctriques són més “brutes” que les dades de gas natural, assumint que el consum de gas natural és degut a ús per calefacció, en gran part, i la resta per ACS. En canvi en les dades elèctriques, a part del consum per refrigeració, hi ha molts d’altres consums (il·luminació, ordinadors i d’altres equips elèctrics) que fan que el consum elèctric no tingui una dependència de la temperatura ambient tant marcada com s’ha vist en les dades mensuals de gas.

- Assumint un valor mitjà d’eficiència de les calderes de gas natural, amb els coeficients de dependència climàtica a l’estiu dels models 4P i 5P, s’estimen valors d’EER per a les refrigeradores i bombes de calor que s’utilitzen per refrigeració. Es troba un valor mitjà de  $EER=2,2$ , per sota els valors típics situats entre 2,5-3.
- Els resultats d’acompliment dels requisits per aconseguir la categoria NZEB definida per el prEN ISO/DIS 52000-1 pels 20 edificis de la UdL, mostren que la majoria d’ells estan 2 i 16 vegades per sobre els llindars màxims d’energia primària no renovable. Així, les xifres reals d’energia estan molt lluny dels futurs objectius espanyols del NZEB i es necessita una restauració d’energia profunda si es desitja que els edificis universitaris d’Espanya compleixin aquests requisits.

## 10.2 Propostes de millora

A continuació es detallen una sèrie de propostes de millora, basades en els resultats obtinguts, que haurien de permetre aconseguir els objectius d’eficiència energètica per a tots els edificis de la UdL.

- **Millora en el control dels sistemes de climatització**

Implementar un control dels sistemes HVAC que permetin controlar les temperatures de consigna tant per calefacció com refrigeració. Segons el R.D. 1826/2009, les temperatures límit establertes haurien de ser de 21 °C al hivern i de 26 °C a l’estiu. No obstant, s’hauria de plantejar el confort tèrmic dels usuaris que fan ús de l’edifici, avaluant aquest confort mitjançant una enquesta per exemple. Aquest control també s’hauria de realitzar aula a aula per realitzar un control més precís, ja que si l’aula per exemple està desocupada no requeriria de climatització.



➤ **Reducció del consum stand-by**

Com s'ha pogut observar en els resultats de l'anàlisi horari de dades elèctriques, per cada edifici s'ha pogut observar que durant les nits i diumenges on l'edifici roman tancat, existeix un consum. Aquest hauria de ser analitzat mitjançant la realització d'una auditoria energètica i detectar els orígens d'aquests consums per reduir-los o eliminar-los.

➤ **Millora dels equips de climatització**

S'ha pogut observar en els resultats obtinguts que una de les possibles causes d'un excés de consum en climatització prové dels equips. Aquests haurien de rebre millores per millorar la seva eficiència energètica o be substituir-los per d'altres equips més eficients. Quan es realitzi una substitució d'un equip com pot ser una refrigeradora, bomba de calor o caldera de gas natural, valorar si es pot anar cap a vies més eficients i menys contaminants. Un exemple podria ser la substitució de les calderes de gas natural per calderes de biomassa, amb les quals les emissions de CO<sub>2</sub> generades es reduirien dràsticament.

➤ **Millora del sistema fotovoltaic**

Un altra millora seria la de realitzar millores en el sistema fotovoltaic de la UdL. Aquest consistiria en analitzar més en detall la reducció d'eficiència observada de les plaques fotovoltaïques i augmentar el parc fotovoltaic de la UdL. Sembla que aquesta direcció està prenent força, ja que aquest últim any (2018) s'ha inaugurat un nou parc fotovoltaic a les cobertes de Medicina i Infermeria amb una potència instal·lada de 82,6 kW. Aquestes accions han de permetre un auto abastiment d'energia en els edificis de la UdL i farien possible estar més prop dels objectius NZEB.

➤ **Millora en l'eficiència de les lluminàries**

Una substitució de les lluminàries antigues i poc eficients per unes de nova tecnologia amb eficiències altes permetrien reduir el consum base de l'edifici, ja que com s'ha comentat en el treball, un 16% del consum en edificis no residencials es degut a la il·luminació.

També seria molt important instal·lar sistemes d'activació de les lluminàries amb la detecció de moviment, ja que molts cops hi ha passadissos, halls o classes senceres amb les llums obertes i sense cap tipus d'ocupació.

Aquestes dos accions permetrien aconseguir grans estalvis amb, retorns econòmics relativament coherents, si s'apliqués en tots els edificis de la UdL.

➤ **Reducció dels valors U dels tancaments i obertures**

Una reducció dels valors del coeficient de transferència de calor permetrien tenir menys pèrdues de calor per l'envolupant de l'edifici i així el consum energètic es veuria reduït. Una millora de les obertures i ponts tèrmics també permetria una reducció de consum.

➤ **Instal·lar mesuradors per lectures de consum real específic per climatització**

Com s'ha pogut observar i concloure en aquest treball, les lectures de gas i electricitat de que es disposen, no són detallades i inclouen d'altres consum que no estan relacionats amb la climatització. Amb la instal·lació de mesuradors de consum real específic pels equips de climatització, permetrien anàlisis detallats d'aquests i obtenir conclusions més determinants, facilitant la feina a l'oficina tècnica d'infraestructures de la UdL ja que podria identificar ràpidament on ha d'actuar.

### **10.3 Línies futures de treball/investigació**

Entre les possibles línies d'investigació o treball futures, derivades dels resultats del present projecte, destaquen especialment les que es mostren a continuació.

**Realitzar auditories detallades d'energia a tots els edificis**

Consistiria en realitzar auditories i anàlisis més en concret edifici a edifici, començant pels més ineficients. S'han de proposar mesures concretes d'estalvi energètic en tres aspectes principals:

- La construcció i disseny dels edificis: mitjançant la millora dels aïllaments tèrmics i l'eliminació de ponts tèrmics en l'envolupant de l'edifici i aplicant els principis de disseny passiu en la renovació de l'edifici per reduir la demanda energètica.
- Les instal·lacions: millorant l'eficiència dels sistemes incorporant la producció extra d'energia renovable.
- El comportament de l'usuari: optimitzant l'ús del temps i l'espai dels edificis.

**Implementació de la metodologia**

Es tractaria de millorar les metodologies que s'han utilitzat en aquest treball, implementar-les o bé utilitzar altres metodologies per l'anàlisi que permetin generar un anàlisi més detallat i precís.

### **Generació d'un model que pugui predir el consum elèctric**

Generació d'un model que pugui predir el consum elèctric horari durant el període d'un any i de com aquest es afectat per les condicions climàtiques o d'ocupació, en base a les dades elèctriques de que es disposen, temperatures exteriors, radiació solar, festius, etc... Això permetria generar indicadors d'ús de l'electricitat i mostrar-los en els diferents edificis de la universitat; per poder gestionar millor el seu ús (temperatures de consigna correctes) i conscienciar als usuaris per a que en facin un ús responsable.

## Bibliografia

- [1] N. US Department of Commerce, «ESRL Global Monitoring Division - Global Greenhouse Gas Reference Network». [En línia]. Disponible a: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. [Consulta: 06-maig-2018].
- [2] «Sistema Español de Inventario de Emisiones». [En línia]. Disponible a: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/>. [Consulta: 06-maig-2018].
- [3] «Fifth Assessment Report - Synthesis Report». [En línia]. Disponible a: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. [Consulta: 07-maig-2018].
- [4] S. M. de C. G. de Catalunya, «Tendència climàtica | Meteocat», *Inici*. [En línia]. Disponible a: <http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-ara/tendencia-climatica/>. [Consulta: 06-maig-2018].
- [5] «Graphic: Earth's temperature record», *Climate Change: Vital Signs of the Planet*. [En línia]. Disponible a: [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/9/graphic-earths-temperature-record/](https://climate.nasa.gov/climate_resources/9/graphic-earths-temperature-record/). [Consulta: 07-maig-2018].
- [6] J. Cook *et al.*, «Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature», *Environ. Res. Lett.*, vol. 8, núm. 2, p. 024024, 2013.
- [7] J. Cook *et al.*, «Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming», *Environ. Res. Lett.*, vol. 11, núm. 4, p. 048002, 2016.
- [8] «Cambio climático», *Desarrollo Sostenible*.
- [9] «Instrumento de Ratificación del Protocolo de Kyoto al Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.», p. 18.
- [10] paeria.es, «Pla d'acció de l'energia sostenible de Lleida - 2020 — Regidoria de Promoció i Gestió de l'Habitat Urbà i Rural i la Sostenibilitat – La Paeria – Ajuntament de Lleida». [En línia]. Disponible a: <http://urbanisme.paeria.cat/noticies/pla-daccio-de-lenergia-sostenible-de-lleida-2020>. [Consulta: 07-maig-2018].
- [11] «Statistics». [En línia]. Disponible a: <https://www.iea.org/statistics/>. [Consulta: 07-maig-2018].
- [12] «BP Statistical Review of World Energy 2017», p. 52.
- [13] «Ahorro de energía». [En línia]. Disponible a: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html>. [Consulta: 07-maig-2018].
- [14] «Estudios, informes y estadísticas | IDAE». [En línia]. Disponible a: <http://www.idae.es/estudios-informes-y-estadisticas-0>. [Consulta: 07-maig-2018].
- [15] «Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios de España.» [En línia]. Disponible a: [http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/R econocidos/Otros%20documentos/Factores\\_emision\\_CO2.pdf](http://www.mincotur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/R econocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf). [Consulta: 07-maig-2018].
- [16] «Database - Eurostat». [En línia]. Disponible a: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>. [Consulta: 11-juny-2018].
- [17] «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE Texto pertinente a efectos del EEE», p. 56.
- [18] L. Pagliano *et al.*, *Towards nearly zero- energy buildings. Definition of common principles under the EPBD*. 2013.
- [19] F. Mariottini, «NZEBS IN EUROPE: Different speeds on the road to an energy efficient building stock», 18-juny-2015.

- [20] «nZEB definitions by country». [En línia]. Disponible a: <http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu/overall-building-activities/nzeb-definitions-by-country.html>. [Consulta: 14-maig-2018].
- [21] D. Crawley, S. Pless, i P. Torcellini, «Getting to net zero», *ASHRAE J.*, vol. 51, núm. 9, p. 18-25, 2009.
- [22] «California's Zero Net Energy Action Plan», *California's Zero Net Energy Action Plan*. [En línia]. Disponible a: <https://www.capath2zne.org>. [Consulta: 14-maig-2018].
- [23] S. Deng, R. Z. Wang, i Y. J. Dai, «How to evaluate performance of net zero energy building – A literature research», *Energy*, vol. 71, p. 1-16, jul. 2014.
- [24] T. Lützkendorf, G. Foliente, M. Balouktsi, i A. H. Wiberg, «Net-zero buildings: incorporating embodied impacts», *Build. Res. Inf.*, vol. 43, núm. 1, p. 62-81, gen. 2015.
- [25] «EUR-Lex - 52013DC0483 - EN - EUR-Lex». [En línia]. Disponible a: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1526322923529&uri=CELEX:52013DC0483>. [Consulta: 14-maig-2018].
- [26] «nZEB definitions across Europe», *BPIE - Buildings Performance Institute Europe*. [En línia]. Disponible a: <http://bpie.eu/publication/nzeb-definitions-across-europe-2015/>. [Consulta: 14-maig-2018].
- [27] «Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE». [En línia]. Disponible a: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentos-complementarios/353-documento-de-bases-dbhe.html>. [Consulta: 14-maig-2018].
- [28] D. D'Agostino, P. Zangheri, i L. Castellazzi, «Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings», *Energies*, vol. 10, núm. 1, p. 117, gen. 2017.
- [29] T. Niemelä, R. Kosonen, i J. Jokisalo, «Cost-optimal energy performance renovation measures of educational buildings in cold climate», *Appl. Energy*, vol. 183, p. 1005-1020, des. 2016.
- [30] N. Gaitani, L. C. Fabregas, i M. Santamouris, «Nearly Zero Energy Mediterranean Schools as a Mitigation Potential to Climate Change», en *Perspectives on Atmospheric Sciences*, Springer, Cham, 2017, p. 695-700.
- [31] C. Delmastro, G. Mutani, i L. Schranz, «The evaluation of buildings energy consumption and the optimization of district heating networks: a GIS-based model», *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 7, núm. 3, p. 343-351, set. 2016.
- [32] K. Flodberg, Å. Blomsterberg, i M.-C. Dubois, «Low-energy office buildings using existing technology: simulations with low internal heat gains», *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 3, núm. 1, p. 19, des. 2012.
- [33] «IARU Green Guide for Universities | Sustainability & Energy». [En línia]. Disponible a: <https://sustainability.berkeley.edu/news/iaru-green-guide-universities>. [Consulta: 14-maig-2018].
- [34] C. Mh i R. Ek, «Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university campus: A field survey in Korea», *Energy Build.*, vol. 78, p. 176-182, 2014.
- [35] G. Kayo i N. Suzuki, «On-Site Energy Management by Integrating Campus Buildings and Optimizing Local Energy Systems, Case Study of the Campus in Finland», *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, vol. 4, núm. 4, p. 347-359, des. 2016.
- [36] E. Mata, F. López, i A. Cuchí Burgos, «Optimization of the management of building stocks: an example of the application of managing heating systems in university buildings in Spain», *Energy Build.*, vol. 41, núm. 12, p. 1334-1346, des. 2009.
- [37] O. T. Masoso i L. J. Grobler, «The dark side of occupants' behaviour on building energy use», *Energy Build.*, vol. 42, núm. 2, p. 173-177, feb. 2010.
- [38] H. Sait, «Auditing and analysis of energy consumption of an educational building in hot and humid area», *Energy Conversion Manag.*, vol. 66, p. 143-152, març 2013.
- [39] M. S. Gul i S. Patidar, «Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building», *Energy Build.*, vol. 87, p. 155-165, gen. 2015.

- [40] M. Medrano, J. M. Martí, L. Rincón, G. Mor, J. Cipriano, i M. Farid, «Assessing the nearly zero-energy building gap in university campuses with a feature extraction methodology applied to a case study in Spain», *Int. J. Energy Environ. Eng.*, 2018.
- [41] «Valores climatológicos normales: Lleida - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». [En línia]. Disponible a: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=9771C&k=cat>. [Consulta: 09-juny-2018].
- [42] «Clima Lleida - meteoblue». [En línia]. Disponible a: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/lleida\\_espa%C3%B1a\\_3118514](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/lleida_espa%C3%B1a_3118514). [Consulta: 09-juny-2018].
- [43] «Balance del Consumo de energía final». [En línia]. Disponible a: <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=2011&tipbal=t>. [Consulta: 12-juny-2018].
- [44] D. Ürgе-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche, i K. Petrichenko, «Heating and cooling energy trends and drivers in buildings», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, p. 85-98, gen. 2015.
- [45] «CIBSE - Building Services Knowledge». [En línia]. Disponible a: <https://www.cibse.org/Knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q20000008I73TAAS>. [Consulta: 15-juny-2018].
- [46] K. X. Perez, K. Cetin, M. Baldea, i T. F. Edgar, «Development and analysis of residential change-point models from smart meter data», *Energy Build.*, vol. 139, p. 351-359, març 2017.
- [47] «Regression Analysis - Correlate Energy Consumption with Degree Days». [En línia]. Disponible a: <http://www.degreedays.net/regression-analysis>. [Consulta: 15-juny-2018].
- [48] «R: The R Project for Statistical Computing». [En línia]. Disponible a: <https://www.r-project.org/>. [Consulta: 20-juny-2018].
- [49] D. K. Ruch i D. E. Claridge, «A development and comparison of NAC estimates for linear and change-point energy models for commercial buildings», *Energy Build.*, vol. 20, núm. 1, p. 87-95, gen. 1993.
- [50] R. Hitchin i I. Knight, «Daily energy consumption signatures and control charts for air-conditioned buildings», *Energy Build.*, vol. 112, p. 101-109, gen. 2016.
- [51] M. Paulus, D. Claridge, i C. Culp, «Algorithm for automating the selection of a temperature dependent change point model», *Energy Build.*, vol. 87, nov. 2014.
- [52] V. Muggeo, «Segmented: An R Package to Fit Regression Models With Broken-Line Relationships», *R News*, vol. 8, p. 20-25, gen. 2008.
- [53] «ISO 52000-1:2017 - Energy performance of buildings -- Overarching EPB assessment -- Part 1: General framework and procedures». [En línia]. Disponible a: <https://www.iso.org/standard/65601.html>. [Consulta: 29-juny-2018].
- [54] «Escala de calificación energética. Edificios existentes - PDF». [En línia]. Disponible a: <https://docplayer.es/7137664-Escala-de-calificacion-energetica-edificios-existentes.html>. [Consulta: 30-juny-2018].
- [55] «Energy in buildings», *OpenLearn*. [En línia]. Disponible a: <http://www.open.edu/openlearn/nature-environment/the-environment/energy-buildings/content-section-0>. [Consulta: 01-jul-2018].
- [56] «Official Journal of the European Union L 208/6. 2/08/2016, Guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure that, by 2020, all new buildings are zero-energy buildings (2016)». [En línia]. Disponible a: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=EN>. [Consulta: 01-jul-2018].
- [57] J. Groezinger, T. Boermans, A. John, J. Seehusen, i F. Wehringer, «Overview of Member States information on NZEBs», p. 41.

## Annexos

### Annex 1: Codi R per l'anàlisi horari de dades elèctriques

Anàlisi del consum elèctric en l'edifici E8: Edifici Rectorat

---

#### Pas 1. Càrrega de les funcions pròpies i dels packages de treball

*# Càrrega del fitxers de funcions propies*

```
source("lib.R")
```

*# Càrrega de multiples llibreries utilitzant la funció*

*# load\_libraries descrita a lib.R*

```
load_libraries( c("magrittr", "data.table", "ggplot2","tidyr",  
                 "reshape2", "dplyr", "lubridate","AnomalyDetection","zoo") )
```

```
## [1] "Loading package: magrittr"  
## [1] "Loading package: data.table"  
## [1] "Loading package: ggplot2"  
## [1] "Loading package: tidyr"  
## [1] "Loading package: reshape2"  
## [1] "Loading package: dplyr"  
## [1] "Loading package: lubridate"  
## [1] "Loading package: AnomalyDetection"  
## [1] "Loading package: zoo"
```

#### Pas 2. Lectura de dades de l'edifici Rectorat

*# Carreguem la llibreria data.table. Que es pot carregar també amb la funció Load\_Libraries de la línia 438*

```
library(data.table)
```

*# Escollim llegir el fitxer fent servir la funció fread*

```
dfRec <- fread(input="Rectorat.csv",sep=";",colClasses = "character",data.table=F,header=F)
```

*# Visualitzem les 6 primeres files del fitxer*

```
head(dfRec)
```

```
##   V1          V2   V3 V4  
## 1 E8 01/01/2015 0:00 73  
## 2 E8 01/01/2015 1:00 72  
## 3 E8 01/01/2015 2:00 70  
## 4 E8 01/01/2015 3:00 68  
## 5 E8 01/01/2015 4:00 68  
## 6 E8 01/01/2015 5:00 68
```

*# Substituïm les , dels nombres, per .*

```
dfRec[,4] <- gsub(pattern = ",",replacement = ".",x=dfRec[,4])
```

*# convertim en numèric els valors de la columna de consums*

```
dfRec[,4] <- as.numeric(dfRec[,4])
```



```
# definim un vector que sigui la unió de la columna V2 i V3

datetime <- paste(dfRec[,2],dfRec[,3])

# convertim aquest vector en format de data i substituïm la 2ª columna de df per aquest vector

dfRec[,2] <- as.POSIXct( datetime, "utc", format="%d/%m/%Y %H:%M" )

# Eliminem la columna d'hores

dfRec <- dfRec[,-3]

# Posem noms a les columnes

colnames(dfRec) <- c("ID","Time","Value")
```

### Pas 3. Representació gràfica de les dades

#### Dibuixar les dades classificades per setmanes

Per a realitzar una primera exploració de les dades, farem una representació gràfica en base setmanal

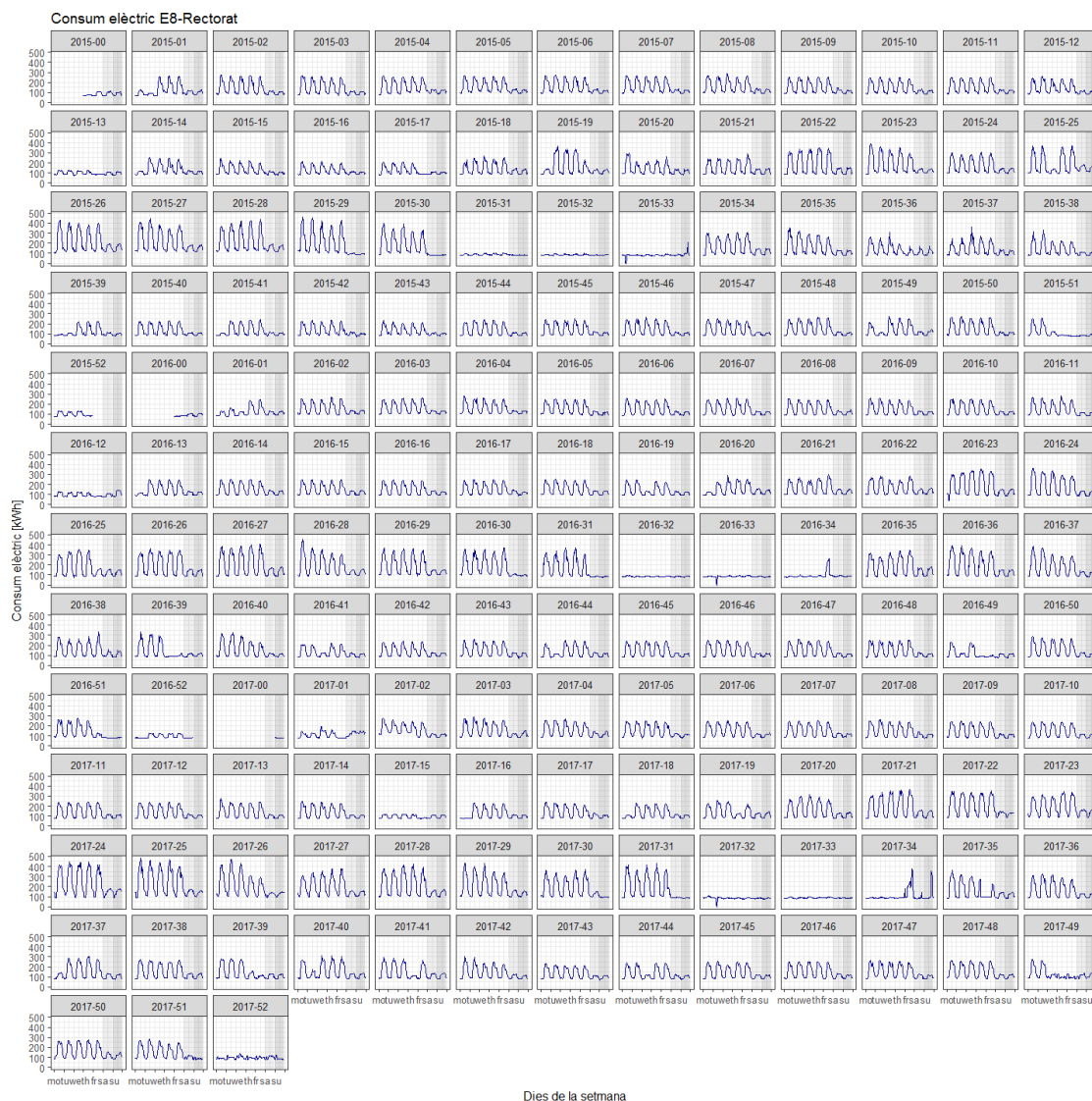
```
## Convert to POSIXct the timeStamp
dfRec$Time<-as.POSIXct(dfRec$Time,tz = "utc")

##add a column year
dfRec<-dfRec %>% mutate(YearWeek=strftime(Time,"%Y-%W",tz='utc'), WeekHour2=(ifelse(as.numeric(strftime(Time,"%w",tz="utc"))==0,7,as.numeric(strftime(Time,"%w",tz="utc")))-1)*24+ as.numeric(strftime(dfRec$Time,"%H",tz="utc")), WeekHour=as.numeric(strftime(Time,"%w",tz="utc"))*24+ as.numeric(strftime(dfRec$Time,"%H",tz="utc")))

## Warning: package 'bindrcpp' was built under R version 3.3.3

# Plot data in multiple facets based on YearWeek vector
dfRec %>% ggplot(aes(x =as.numeric(WeekHour2), y =as.numeric(Value))) +
  geom_line(col="darkblue") + # time series plot of the energy consumption
  facet_wrap(~YearWeek) + # Grouped in weeks
  labs(x = "Dies de la setmana", y = "Consum elèctric [kWh]", title = "Consum elèctric E8-Rectorat") + #Noms dels eixos
  annotate("rect", xmin =120 , xmax = 143, ymin = -Inf, ymax = Inf, #Area colorejada pels diumenges
    alpha = .1)+
  annotate("rect", xmin =144 , xmax = 167, ymin = -Inf, ymax = Inf, #Area colorejada pels dissabtes
    alpha = .2)+
  # format de les marques de l'eix de les x
  scale_x_continuous(limits=c(0,168),breaks = seq(0,168,24),labels = c("mo","tu","we","th","fr","sa","su",""))+
  theme_bw(base_size = 12)
```





## Anàlisi de les dades

Es poden veure clarament les aturades de l'edifici:

Del 01-01-2015 al 06-01-2015 tancat per vacances d'hivern.(Setmana 00-01) Del 28-03-2015 al 05-04-2015 tancat per vacances de setmana santa.(Setmana 13) Del 01-08-2015 al 23-08-2015 tancat per vacances d'estiu.(Setmana 31-32-33)

Del 23-01-2016 al 06-01-2016 tancat per vacances d'hivern.(Setmana 51-01) Del 20-03-2016 al 28-03-2016 tancat per vacances de setmana santa.(Setmana 12) Del 05-08-2016 al 25-08-2016 tancat per vacances d'estiu.(Set. 32-33-34) Del 24-12-2016 al 31-12-2016 tancat per vacances d'hivern.(Setmana 52)

Del 01-01-2017 al 08-01-2017 tancat per vacances d'hivern.(Setmana 01-02) Del 08-04-2017 al 17-04-2017 tancat per vacances de setmana santa.(Setmana 15) Del 05-08-2017 al 25-08-2017 tancat per vacances d'estiu.(Set. 32-33-34) Del 21-12-2017 al 31-12-2017 tancat per vacances d'hivern.(Setmana 52)

Estudiant els consums setmanals deduïm que:

El 12-05-2015 s'activa el sistema de refrigeració.  
El 17-05-2016 s'activa el sistema de refrigeració.  
El 16-05-2017 s'activa el sistema de refrigeració.

Festius:

2015: 11-09-2015 (Setmana 36) 28,29-09-2015 (Setmana 39) 12-10-2015 (Setmana 41)-Festa del Pilar 8-12-2015 (Setmana 49)

2016: 11-05-2016 (Setmana 19) 29,30-09-2016 (Setmana 39) 1-11-2016 (Setmana 44) 6,8,9-12-2016 (Setmana 49)

2017:

1-05-2017 (Setmana 18) 11-05-2017 (Setmana 19) 11,29,30-09-2017 (Setmana 39) 12-10-2017 (Setmana 41) 1-11-2017 (Setmana 44) 6,7,8-12-2017 (Setmana 49)

#### Pas 4 Càlculs d'agregació

##### Càlcul de la sèrie de consum diari

Podem obtenir la sèrie de dades de consum diari fent servir la funció `aggregate`

```
# resampling diari
# Vector sobre el qual es farà l'agregació
# Criteri d'agregació. Ha de ser una llista. La funció fa una factorització en nivells
# que siguin iguals. as_date converteix Time en data, sense hores

dfRec_daily <- aggregate(x = dfRec$Value, list(as_date(dfRec$Time)),sum)
# Funció d'agregació, en aquest cas, suma

colnames(dfRec_daily) <- c("Time","Value")
head(dfRec_daily)

##           Time Value
## 1 2015-01-01  1785
## 2 2015-01-02  2142
## 3 2015-01-03  2200
## 4 2015-01-04  2093
## 5 2015-01-05  2278
## 6 2015-01-06  2010
```

#### Pas 5: Consum en percentatge sobre el total de tots els dies de la setmana

Serveix per determinar el consum degut als dissabtes

```
#convertir el vector de Time en POSIXt i el format de Any-mes-dia
dfRec_daily$Time <- as.POSIXct(dfRec_daily$Time,format="%Y-%m-%d")

#afegir una columna que sigui dies de la setmana
dfRec_daily<-dfRec_daily %>% mutate(DayWeek=as.numeric(strftime(Time,"%u")))

#sumar el consum dels dies que siguin = 6 a la columna de DayWeek
dfRec_sat <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==6),sum)[,]
dfRec_sat

##   Group.1      x
## 1  FALSE 3432318
## 2   TRUE  408526
```

```
#sumar el consum dels dies que siguin = 7 a la columna de DayWeek
dfRec_sun <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==7),sum)[]

#sumar el consum dels dies que siguin = 1 a la columna de DayWeek
dfRec_mon <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==1),sum)[]

#sumar el consum dels dies que siguin = 2 a la columna de DayWeek
dfRec_tue <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==2),sum)[]

#sumar el consum dels dies que siguin = 3 a la columna de DayWeek
dfRec_wed <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==3),sum)[]

#sumar el consum dels dies que siguin = 4 a la columna de DayWeek
dfRec_thu <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==4),sum)[]

#sumar el consum dels dies que siguin = 5 a la columna de DayWeek
dfRec_fri <- aggregate(x = dfRec_daily$Value,by=list(dfRec_daily$DayWeek==5),sum)[]
```

Tal i com es pot apreciar del valor de *dfRec\_sat*, el consum de tots els dissabtes del període és equivalent a 408526 KWh.

Si calculem el percentatge respecte el consum total de tots els dies:

```
dfRec_mon[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 15.84598

dfRec_tue[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 16.13152

dfRec_wed[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 15.96451

dfRec_thu[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 15.74485

dfRec_fri[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 15.25947

dfRec_sat[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 10.63636

dfRec_sun[2,2]/sum(dfRec_daily$Value)*100
## [1] 10.4173
```

S'observa que un 10,4 % del consum total és en dissabtes, un percentatge elevat respecte altres edificis estudiats.

**Pas 6: Pretractament de dades: Detectar i reomplir els forats**

És una feina clau quan es treballa amb dades tipus temperatura o radiació, ja que fa molt més senzilla la interpolació de valors quan els forats de temps són petits. En el cas de consums elèctrics, no té molta lògica interpolar valors de consum, però és una eina que ens dona molta informació sobre la qualitat de les dades.

Primer comprovem si hi ha forats analitzant la freqüència més habitual de les dades:

*# Saber la freqüència de dades més habitual; treiem els valors únics d'un vector*

```
time <- unique(dfRec$Time)
head(time,20)

## [1] "2015-01-01 00:00:00 UTC" "2015-01-01 01:00:00 UTC"
## [3] "2015-01-01 02:00:00 UTC" "2015-01-01 03:00:00 UTC"
## [5] "2015-01-01 04:00:00 UTC" "2015-01-01 05:00:00 UTC"
## [7] "2015-01-01 06:00:00 UTC" "2015-01-01 07:00:00 UTC"
## [9] "2015-01-01 08:00:00 UTC" "2015-01-01 09:00:00 UTC"
## [11] "2015-01-01 10:00:00 UTC" "2015-01-01 11:00:00 UTC"
## [13] "2015-01-01 12:00:00 UTC" "2015-01-01 13:00:00 UTC"
## [15] "2015-01-01 14:00:00 UTC" "2015-01-01 15:00:00 UTC"
## [17] "2015-01-01 16:00:00 UTC" "2015-01-01 17:00:00 UTC"
## [19] "2015-01-01 18:00:00 UTC" "2015-01-01 19:00:00 UTC"
```

*#Determines la longitud del vector temps*  
len <- length(time)

*#Fem la resta entre valors consecutius*  
diffs <- time[2:len] - time[1:(len-1)]  
head(diffs,20)

```
## Time differences in hours
## [1] 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

*#Numera els valors únics d'un vector*  
table(diffs)

```
## diffs
##      1      2
## 26297      3
```

Ara apliquem la funció de padding del lib.R

*# Executo la funció de padding. Assigna NA als forats*

```
dfPad <- padding_df(dfRec)
head(dfPad)

##           Time ID Value YearWeek WeekHour2 WeekHour
## 1 2015-01-01 00:00:00 E8      73   2015-00         72      96
## 2 2015-01-01 01:00:00 E8      72   2015-00         73      97
## 3 2015-01-01 02:00:00 E8      70   2015-00         74      98
## 4 2015-01-01 03:00:00 E8      68   2015-00         75      99
## 5 2015-01-01 04:00:00 E8      68   2015-00         76     100
## 6 2015-01-01 05:00:00 E8      68   2015-00         77     101
```

*# Detectem on hi ha els NA*  
dfPad\$Time[is.na(dfPad\$Value)]

```
## [1] "2015-03-29 02:00:00 UTC" "2016-03-27 02:00:00 UTC"
## [3] "2017-03-26 02:00:00 UTC"
```

*#Podem fer una aproximació lineal dels valors NA*  
*#Carreguem la llibreria zoo*

```
library(zoo)
dfPad$Value<-c(na.approx(dfPad$Value))
dfRec<-dfPad
```

### Eliminació d'outliers

En les dades de consum elèctric no ens interessa fer una eliminació d'outliers. Aquests (per baix o per dalt) si s'han produït és per algun motiu i en aquest cas ens interessa contar amb ells. Més endavant si es troba algun valor anòmal ja s'eliminarà.

### Pas 7: Càrrega del fitxer de temperatura per Lleida

A través de les dades d'una estació meteorològica, s'han obtingut les dades de temperatura, en freqüència horària, per a la ciutat de Lleida. Les carreguem i les afegim com una columna dins del data frame *df*:

```
# Escollim llegir el fitxer fent servir la funció fread

meteo <- fread(input="Temperatura Lleida 151617.csv",sep=";",colClasses = "character",
,data.table=F,header=F)

meteo[,2] <- gsub(pattern = ",",replacement = ".",x=meteo[,2])

colnames(meteo) <- c("Time","Value")

# Visualitzem les 6 primeres files del fitxer

head(meteo)

##           Time Value
## 1 01/01/2015 0:00  0.77
## 2 01/01/2015 1:00  0.05
## 3 01/01/2015 2:00 -0.3
## 4 01/01/2015 3:00 -1.05
## 5 01/01/2015 4:00 -1.13
## 6 01/01/2015 5:00 -1.43

# convertim en numèric els valors de la columna de consums

meteo$Value <- as.numeric(meteo$Value)

## Warning: NAs introduced by coercion

# convertim la columna de data en format data

meteo$Time <- as.POSIXct(meteo$Time, "utc",format="%d/%m/%Y %H:%M")
```

### Pas 8 :Detectar i reomplir els forats

Veiem que on hi ha els buits s'hi col·loca automàticament un NA. Prèviament s'ha corregit l'arxiu de temperatura, fent que tingui la longitud adequada al període a estudiar.

```
# Detectem on hi ha els NA
meteo$Time[is.na(meteo$Value)]

## [1] "2015-03-29 02:00:00 UTC" "2015-03-30 06:00:00 UTC"
## [3] "2015-03-30 07:00:00 UTC" "2015-03-30 08:00:00 UTC"
## [5] "2015-03-30 09:00:00 UTC" "2015-03-30 10:00:00 UTC"
## [7] "2015-03-30 11:00:00 UTC" "2015-03-30 12:00:00 UTC"
## [9] "2015-03-30 13:00:00 UTC" "2015-03-30 14:00:00 UTC"
```

```
## [11] "2015-03-30 15:00:00 UTC" "2015-03-30 16:00:00 UTC"  
## [13] "2015-03-30 17:00:00 UTC" "2016-03-27 02:00:00 UTC"  
## [15] "2016-03-27 03:00:00 UTC"
```

```
#Podem fer una aproximació lineal dels valors NA  
#Carreguem la llibreria zoo  
library(zoo)  
meteo$Value<-c(na.approx(meteo$Value))  
meteo2<-meteo
```

### Detecció d'outliers

No es realitza ja que ja s'ha realitzat accions prèvies en fulls de càlcul per detectar-los.

### Representació gràfica del consum respecte la temperatura

Abans de poder fer la representació gràfica, els dos fitxers han de tenir exactament la mateixa longitud. En aquest cas els dos tenen la mateixa longitud, corresponent als anys 2015,2016 i 2017.

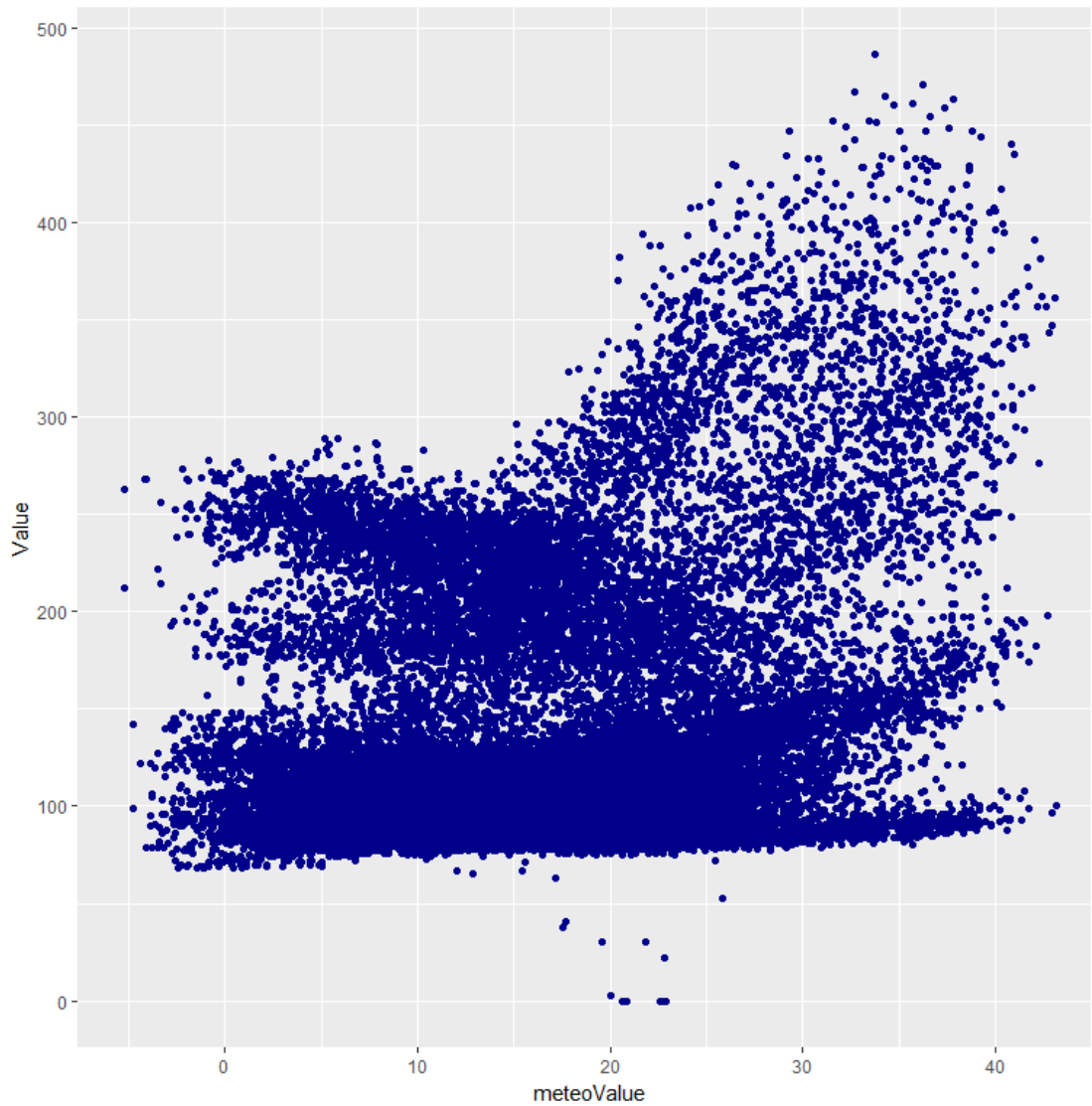
### Representació gràfica del consum respecte la temperatura Exterior

Primer fem un nou data.frame que integri les dades de consum elèctric i les temperatures exteriors:

```
dfReg<-cbind(dfRec,"meteoValue"=meteo2$Value)
```

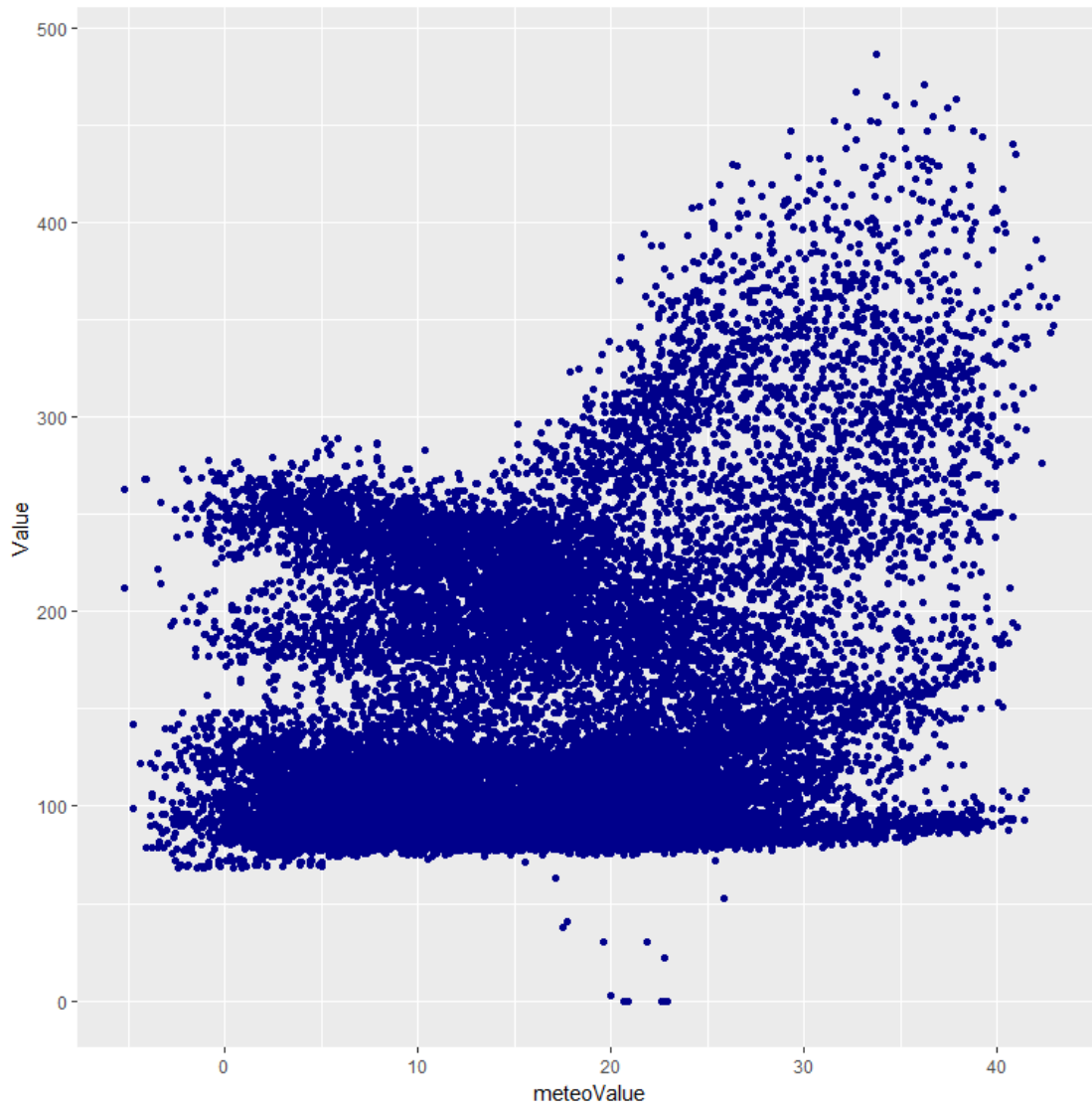
#### 1. Fem un scatterplot

```
ggplot(data=dfReg,aes(x =meteoValue, y =Value)) +geom_point(col="darkblue")
```



## 2. Treiem els diumenges

```
ggplot(data=dfReg[strftime(dfReg$Time,tz ="utc",format = "%u")!=7,],  
  aes(x =meteoValue, y =Value)) +geom_point(col="darkblue")
```



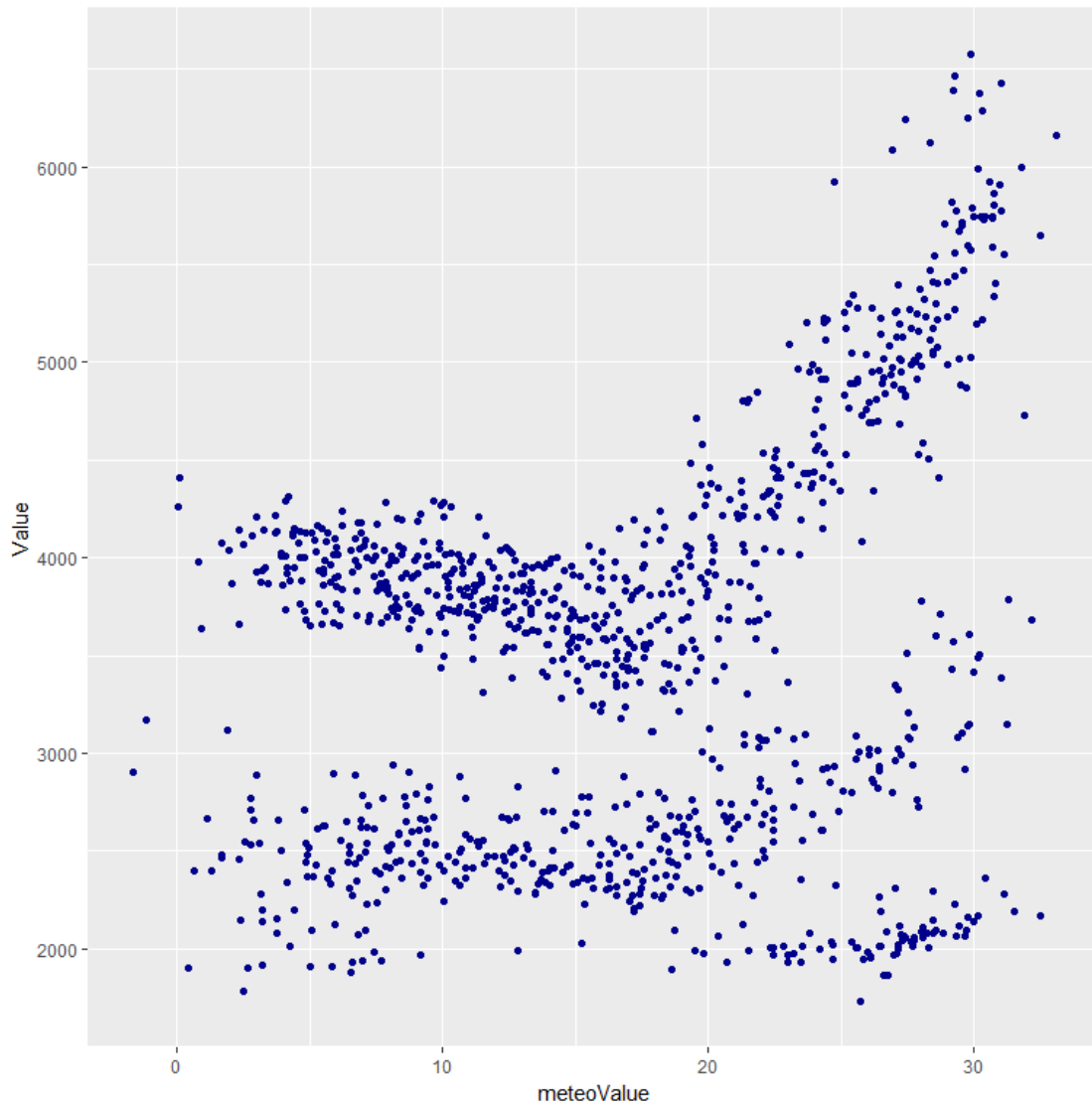
### 3. Fem l'agregat diari

```
dfRegDaily<-cbind(  
  aggregate(dfReg$Value,list(as.Date(dfReg[, 'Time'])),sum),  
  aggregate(dfReg$meteoValue,list(as.Date(dfReg[, 'Time'])),mean)$x)  
  
colnames(dfRegDaily)<- c("Time","Value","meteoValue")  
dfRegDaily$Time<-as.POSIXct(dfRegDaily$Time,tz='utc')
```

### 4. Tornem a generar l'scatterplot de l'agregat diari

```
dfRegDaily %>%  
  ggplot(aes(x =meteoValue, y =Value)) +geom_point(col="darkblue")
```

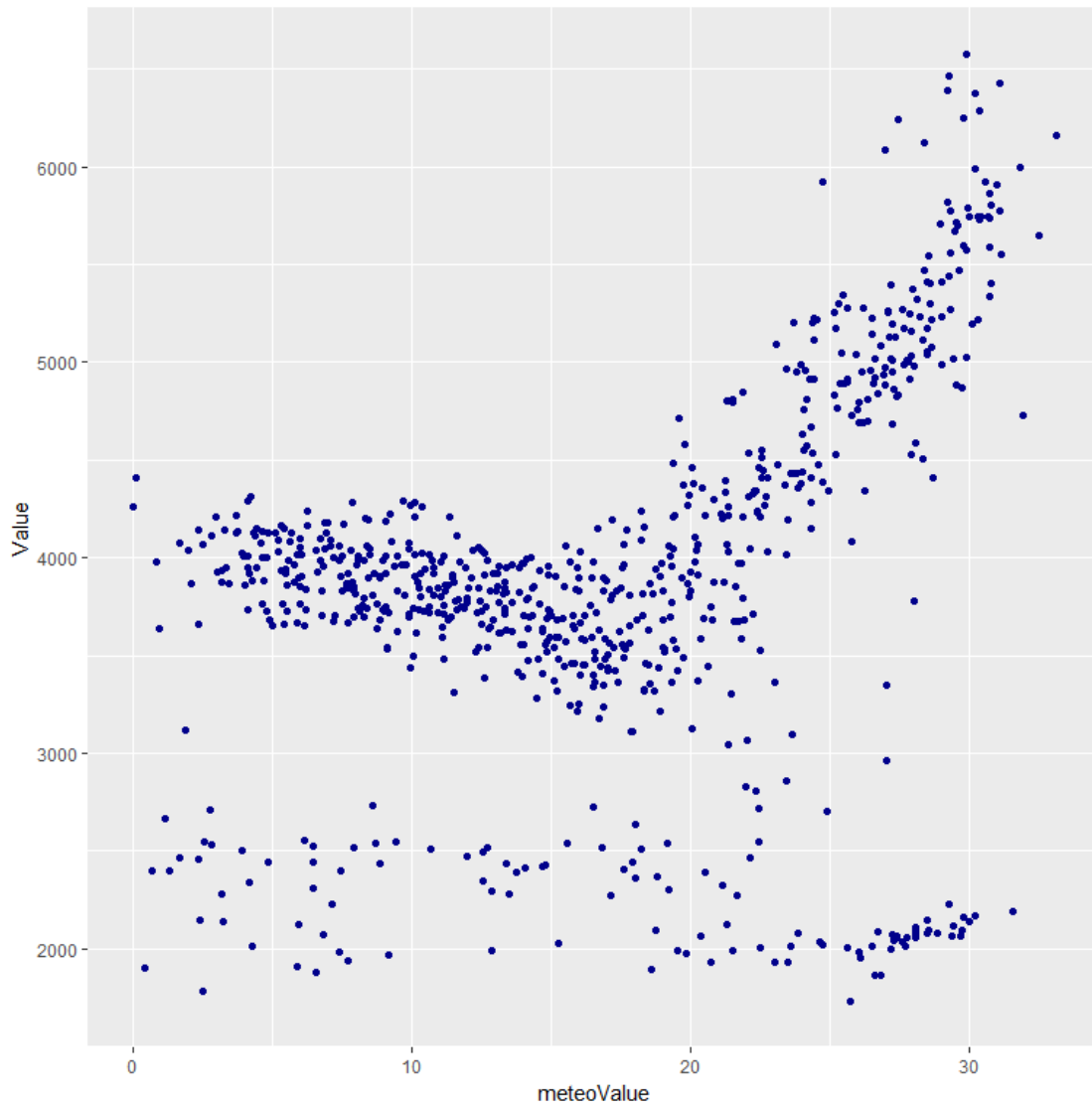




### Pas 9: Filtratge de dades

5. Filtrem els dissabtes i diumenges i tornem a generar el gràfic de punts

```
dfRegDailyTreated <- dfRegDaily %>%  
  filter(strftime(Time,format = "%u") %in% c(1,2,3,4,5))  
  
dfRegDailyTreated %>%  
  ggplot(aes(x =meteoValue, y =Value)) +geom_point(col="darkblue")
```



### Cerca de la T<sup>a</sup> change-point treient els festius

A continuació es col·loquen els agregats diaris en un dataframe amb 2 columnes (x=Consum , y=T<sup>a</sup> ambient), per tal d'aplicar la funció segmented més endavant.

*#Es treuen els períodes de vacances de l'estiu*

```
ini_date <- as.POSIXct("2015-08-01 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2015-08-21 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2016-08-05 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2016-08-26 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2017-08-07 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2017-08-24 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

Eliminem els períodes de vacances hivernals:

```
#Vacances gener 2015  
ini_date <- as.POSIXct("2015-01-01 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2015-01-06 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
#Vacances nadal 2015
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2015-12-23 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2016-01-06 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
#Vacances nadal 2016
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2016-12-23 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2017-01-08 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
#Vacances nadal 2017
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2017-12-21 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2017-12-31 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

Com veiem que per setmana santa el consum és molt baix també el treiem:

```
#Setmana Santa 2015  
ini_date <- as.POSIXct("2015-03-28 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2015-04-06 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
#Setmana Santa 2016
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2016-03-20 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2016-03-28 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

```
#Setmana Santa 2017
```

```
ini_date <- as.POSIXct("2017-04-08 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2017-04-17 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

## Eliminem dies festius en concret:

```
2015:
01-05-2015 Dia del treballador
11-05-2015 Festa Major Lleida (està eliminat anteriorment)
11-09 Diada
28,29-09 Festa St. Miquel
12-10 Festa Nacional
08-12-2015 Festa pont puríssima
2016:
11-05-2016 Festa Major Lleida
29,30-09-2016 Festa St.Miquel
12-10-2016 Festa Nacional
01-11-2016 Tots Sants
06,08,09-12-2016 Pont Puríssima
2017:
01-05-2017 Dia del treballador
11-05-2017 Festa Major Lleida
11-09 Diada
28,29-09 Festa St. Miquel
12-10 Festa Nacional
01-11-2017 Tots Sants
06,07,08-12-2017 Festa pont puríssima
```

Es detecta el valor de consum que tenen els dies festius esmentats anteriorment. Es filtren els dies festius amb el valor de consum màxim dels dies festius:

```
dfRegDailyTreated[dfRegDailyTreated$Value<3098,]
```

```
##           Time    Value meteoValue
## 77  2015-05-01 02:00:00  2066.00  20.3675000
## 83  2015-05-11 02:00:00  2702.00  24.8870833
## 115 2015-06-24 02:00:00  2860.00  23.4420833
## 156 2015-09-10 02:00:00  3044.00  21.3570833
## 157 2015-09-11 02:00:00  2543.00  22.4450000
## 168 2015-09-28 02:00:00  2090.00  18.7166667
## 169 2015-09-29 02:00:00  2271.00  17.1458333
## 178 2015-10-12 02:00:00  2274.00  21.6604167
## 219 2015-12-08 01:00:00  2349.00  12.5662500
## 313 2016-05-11 02:00:00  2723.00  16.4841667
## 316 2016-05-16 02:00:00  2639.00  18.0354167
## 345 2016-06-24 02:00:00  2963.00  27.0320833
## 398 2016-09-29 02:00:00  2124.00  21.2787500
## 399 2016-09-30 02:00:00  2320.00  21.1166667
## 407 2016-10-12 02:00:00  2538.00  15.5729167
## 421 2016-11-01 01:00:00  2412.00  14.0604167
## 446 2016-12-06 01:00:00  2437.00   8.8750000
## 448 2016-12-08 01:00:00  2068.00   6.8241667
## 449 2016-12-09 01:00:00  2124.00   5.9495833
## 533 2017-05-01 02:00:00  2276.00  13.4750000
## 541 2017-05-11 02:00:00  2538.00  19.1612500
## 607 2017-08-31 02:00:00  3097.80  23.6420833
## 608 2017-09-01 02:00:00  3065.25  21.9920833
## 614 2017-09-11 02:00:00  2714.00  22.4279167
## 627 2017-09-28 02:00:00  2826.00  21.9779167
## 628 2017-09-29 02:00:00  2466.00  22.1283333
## 630 2017-10-03 02:00:00  2803.00  22.3075000
## 637 2017-10-12 02:00:00  2389.00  20.4841667
## 651 2017-11-01 01:00:00  2425.50  14.7795833
## 676 2017-12-06 01:00:00  2668.00   1.1337500
## 677 2017-12-07 01:00:00  2395.00   0.6791667
## 678 2017-12-08 01:00:00  2398.00   1.3070833
```

*#Eliminem els valors detectats*

```
dfRegDailyTreated<-dfRegDailyTreated[dfRegDailyTreated$Value>=3098,]
```

*#2015*

```
ini_date <- as.POSIXct("2015-04-23 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2015-04-23 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

*#S'elimina per un consum molt baix (dilluns)*

```
ini_date <- as.POSIXct("2015-04-23 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2015-04-23 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

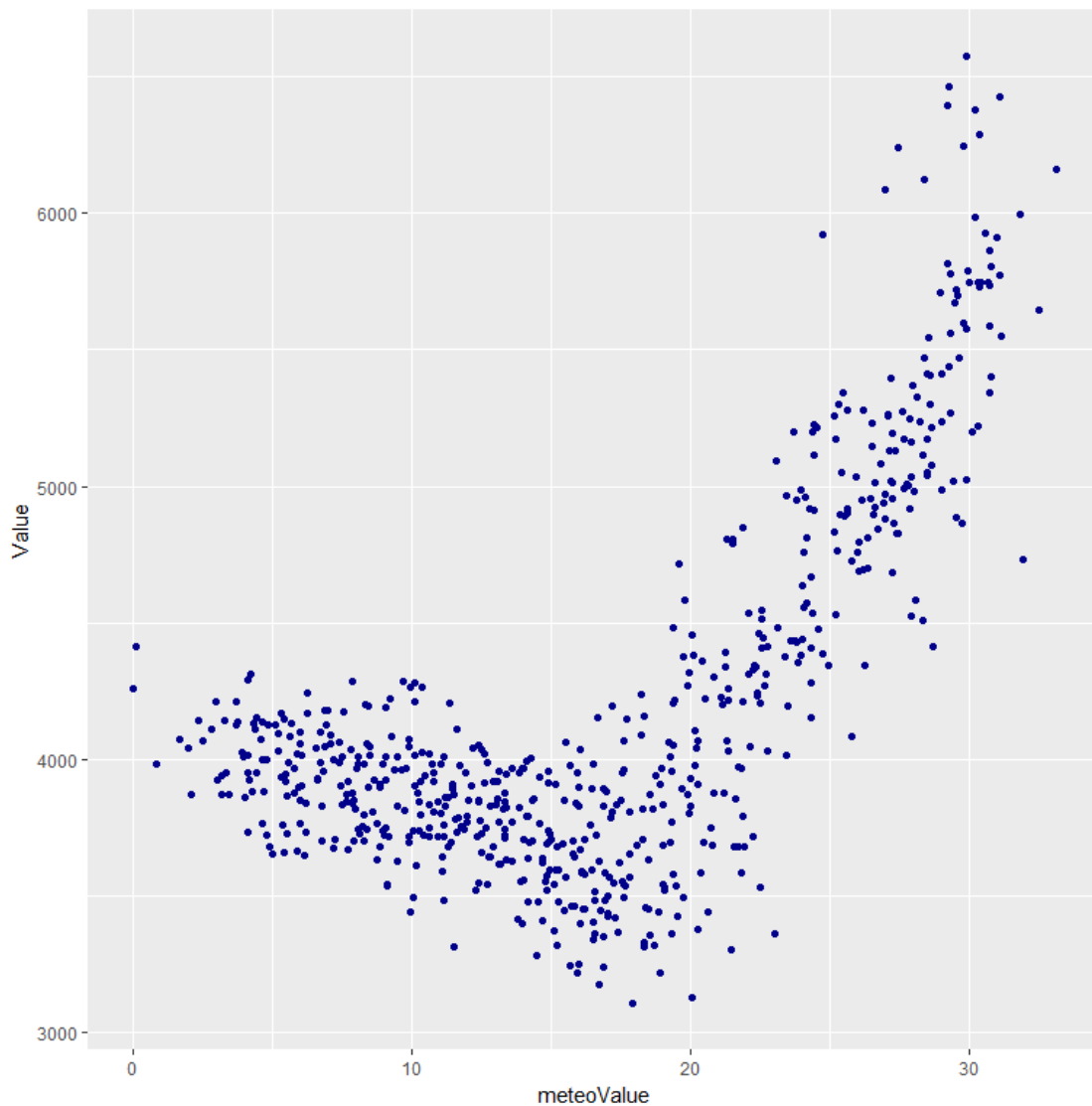
```
ini_date <- as.POSIXct("2015-12-07 00:00:00",tz="utc")  
end_date <- as.POSIXct("2015-12-07 23:59:00",tz="utc")
```

```
dfRegDailyTreated<- dfRegDailyTreated %>%  
  filter(!between(Time,ini_date,end_date))
```

*#Es col·loquen els valors de consum i temperatura en un altre dataframe per trobar el change-point*

```
dfcp<-dfRegDailyTreated[,2:3]
```

```
dfcp %>%  
  ggplot(aes(x =meteoValue, y =Value)) +geom_point(col="darkblue")
```



#### Pas 10: Trobar la dependència climàtica de l'edifici i les temperatures de canvi o change-point

Es divideix el valor de consum per la superfície construïda bruta per normalitzar resultats:

```
dfcp[,1]<-as.numeric((dfcp$Value)/20889)
```

A continuació s'aplica la funció segmented per tal de trobar el canvi de pendent en la línia de regressió que ajusta el nuvol de punts. Amb això es troba la change-point temperature:

```
library("segmented", lib.loc=~R/win-library/3.3")

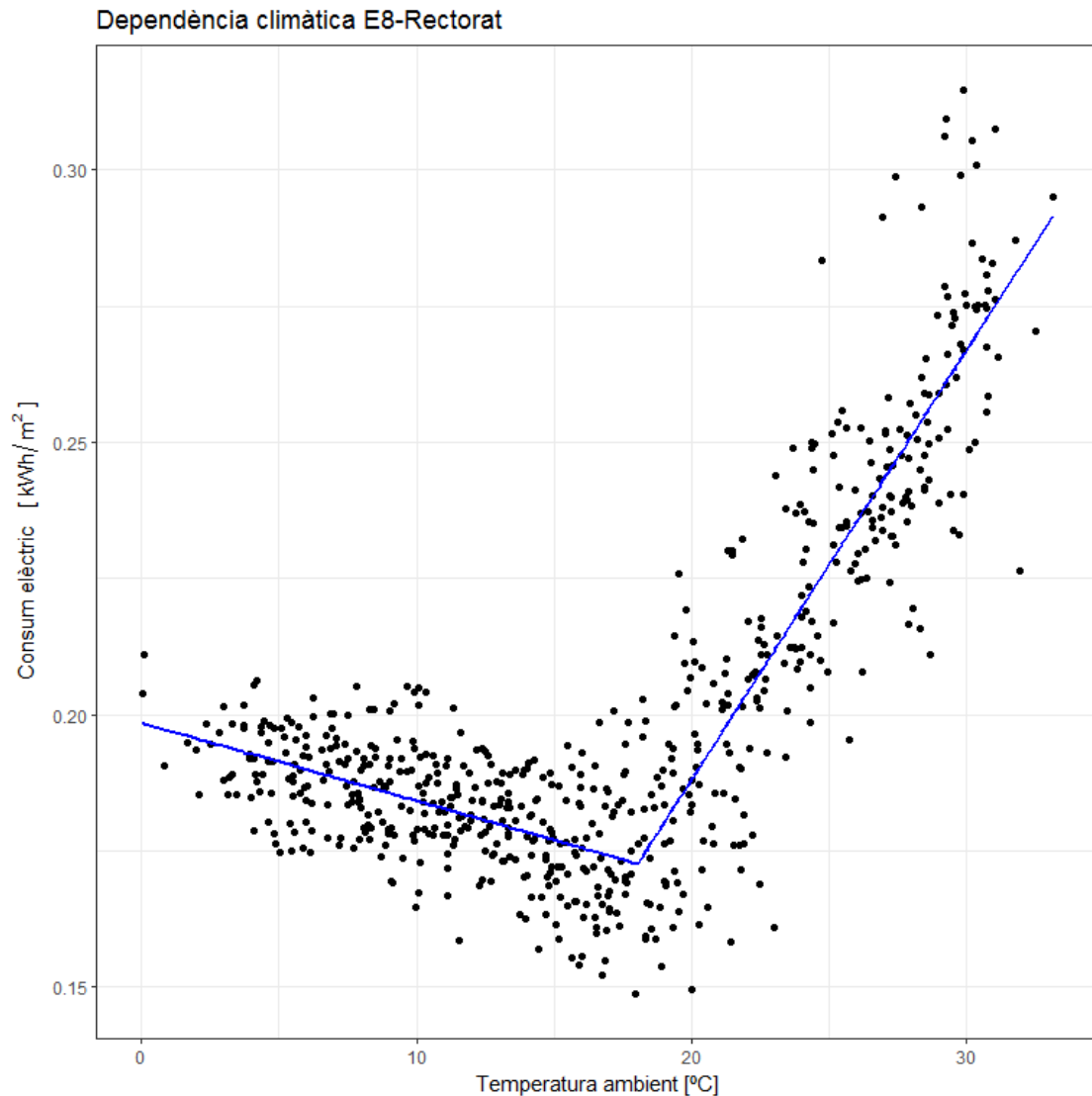
out.lm <- lm(Value ~ meteoValue, data = dfcp)

Rseg <- segmented(out.lm, seg.Z = ~meteoValue, psi = c(10),
  control = seg.control(display = FALSE))

dat2 = data.frame(x = dfcp$meteoValue, y = broken.line(Rseg)$fit)

colnames(dat2)<-c("meteoValue","Value")
```

```
ggplot(dfcp,aes(x = meteoValue, y = Value)) +  
  geom_point() + geom_line(data = dat2, color = 'blue',size=1)+theme_bw()+labs(x="Tem  
peratura ambient [°C]",y=expression("Consum elèctric" ~ ~ ~ "[" ~kWh/m^{2}~ "]"), tit  
le="Dependència climàtica E8-Rectorat")
```



## Resultats:

```
summary(Rseg)
```

```
##  
## ***Regression Model with Segmented Relationship(s)***  
##  
## Call:  
## segmented.lm(obj = out.lm, seg.Z = ~meteoValue, psi = c(10),  
##   control = seg.control(display = FALSE))  
##  
## Estimated Break-Point(s):  
##   Est. St.Err  
## 18.039  0.226  
##  
## Meaningful coefficients of the linear terms:  
##           Estimate Std. Error t value      Pr(>|t|)  
## (Intercept)  0.1985086  0.0018974 104.624 <0.0000000000000002 ***  
## meteoValue   -0.0014380  0.0001627  -8.839 <0.0000000000000002 ***
```

```
## U1.meteoValue 0.0093297 0.0002656 35.125 NA
## ---
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.01375 on 648 degrees of freedom
## Multiple R-Squared: 0.8176, Adjusted R-squared: 0.8168
##
## Convergence attained in 6 iterations with relative change -0.00000524813
```

S'obté una temperature de change-point de 18,039°C.

```
ggplotRegression <- function (fit) {

  require(ggplot2)

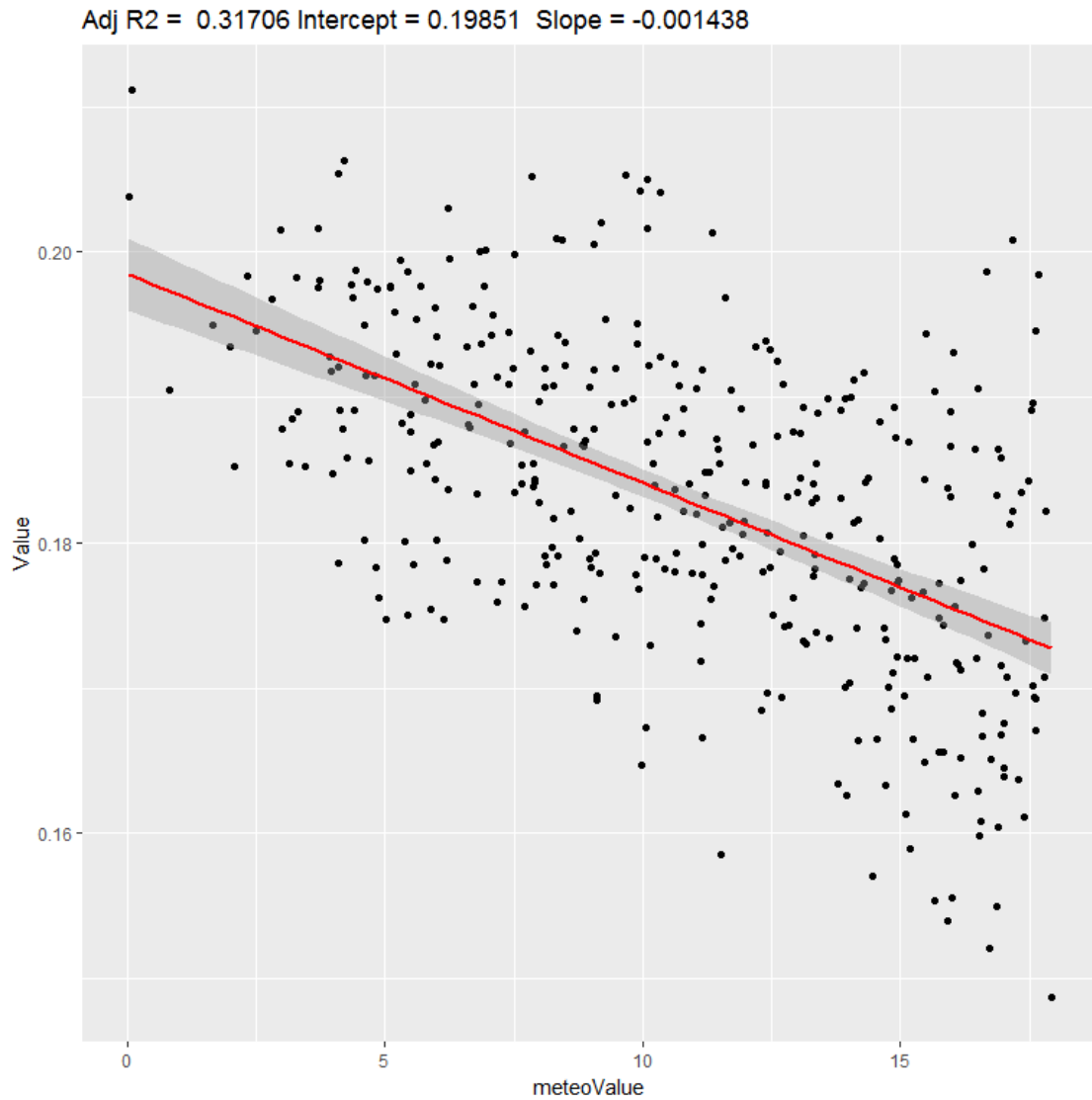
  ggplot(fit$model, aes_string(x = names(fit$model)[2], y = names(fit$model)[1])) +
    geom_point() +
    stat_smooth(method = "lm", col = "red") +
    labs(title = paste("Adj R2 = ", signif(summary(fit)$adj.r.squared, 5),
                      "Intercept = ", signif(fit$coef[[1]], 5),
                      " Slope = ", signif(fit$coef[[2]], 5)))
}

dffiltp <- dfRegDailyTreated
dffiltp[, 2] <- as.numeric((dffiltp$Value)/20889)

CE <- filter(dffiltp, dffiltp$meteoValue < 18.039)

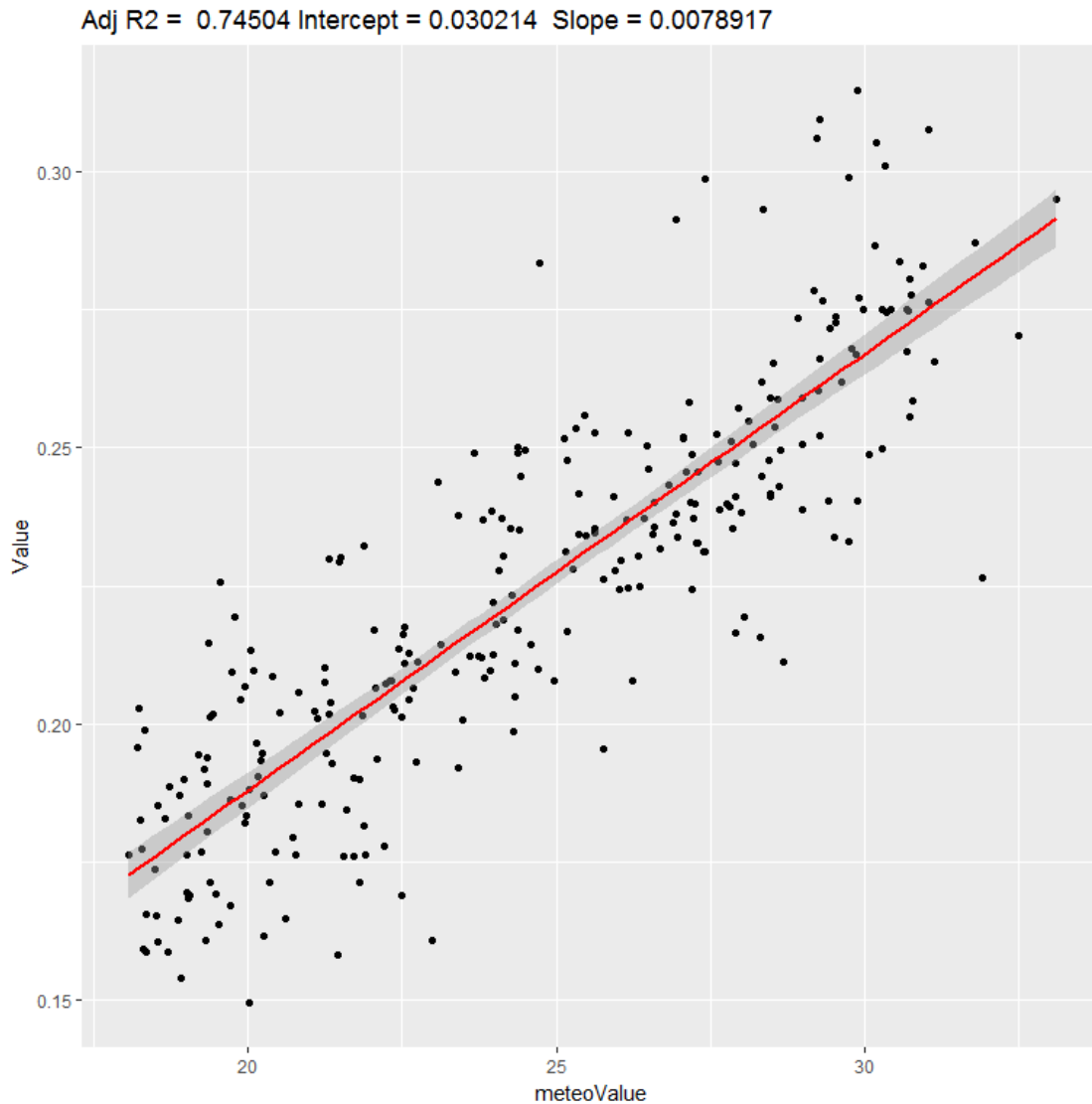
fit2 <- lm(Value ~ meteoValue, data = CE)
ggplotRegression(fit2)
```





```
CD<- filter(dffiltp,dffiltp$meteoValue>18.039)
```

```
fit3 <- lm(Value ~ meteoValue, data = CD)  
ggplotRegression(fit3)
```



Resultats del segmented:

```
#m
slope(Rseg)

## $meteoValue
##           Est.   St.Err. t value CI(95%).l CI(95%).u
## slope1 -0.001438 0.0001627  -8.839 -0.001757 -0.001119
## slope2  0.007892 0.0002100  37.590  0.007479  0.008304

#b
intercept(Rseg)

## $meteoValue
##           Est.
## intercept1 0.19850
## intercept2 0.03021

results<-coefficients(Rseg)
results<-as.numeric(results)

n<-results[1]
B2<-results[2]
```

```
#B1

results1<-slope(Rseg)

B1<-results1$meteoValue[2]

#Es calcula el consum base de l'edifici C:
C=B2*18.039+n

#Es calcula l'interval de confiança (95%) pels valors calculats, amb els valors d'error estàndard de les dos línies de regressió:

SE2<-results1$meteoValue[3]*1.96
SE1<-results1$meteoValue[4]*1.96

#Resultats finals

B1
## [1] 0.007892

B2
## [1] -0.001438036

SE1
## [1] 0.0004116

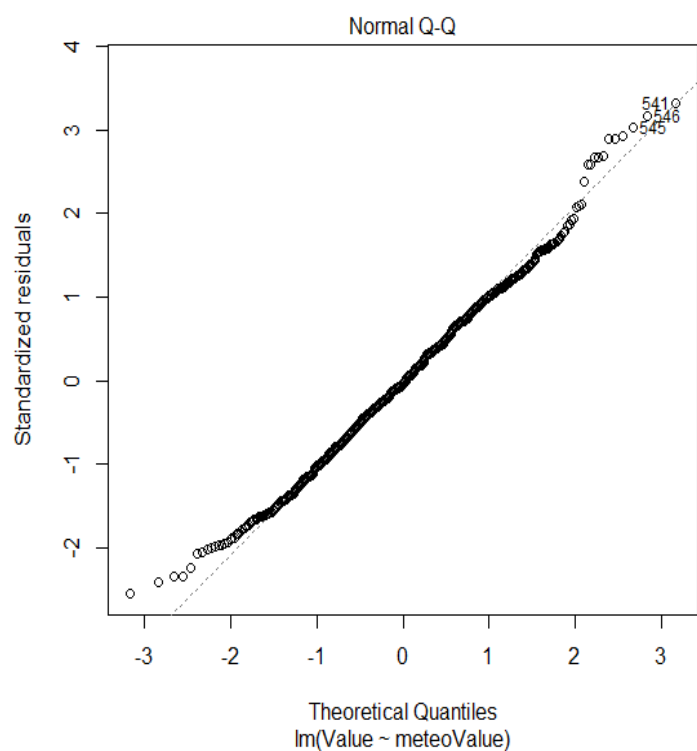
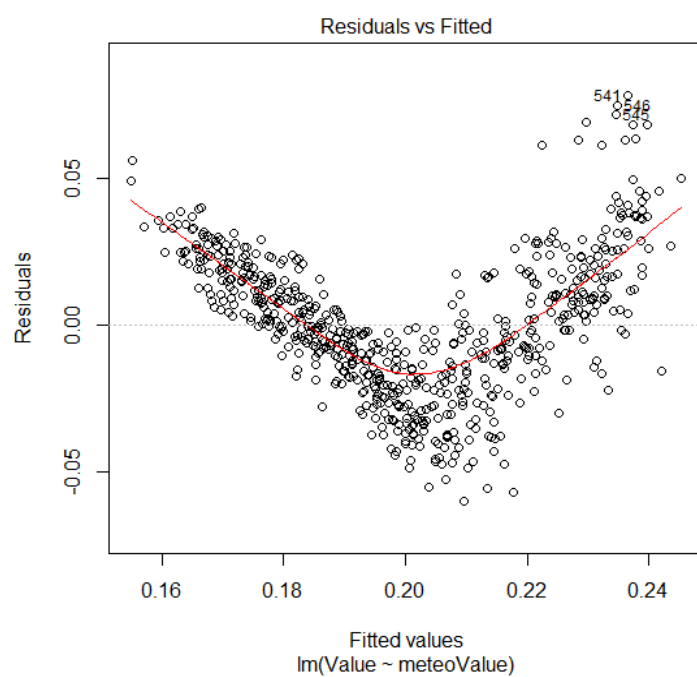
SE2
## [1] 0.000318892

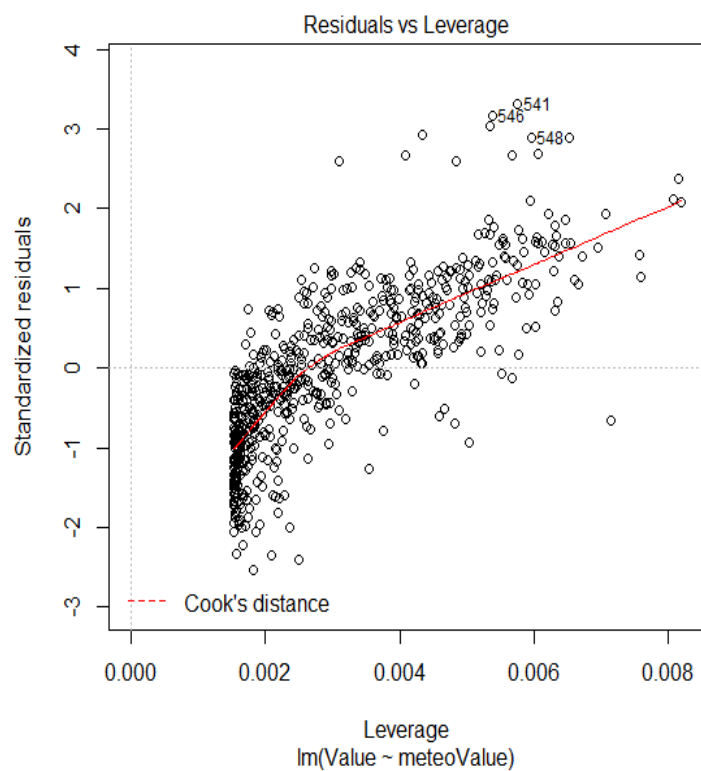
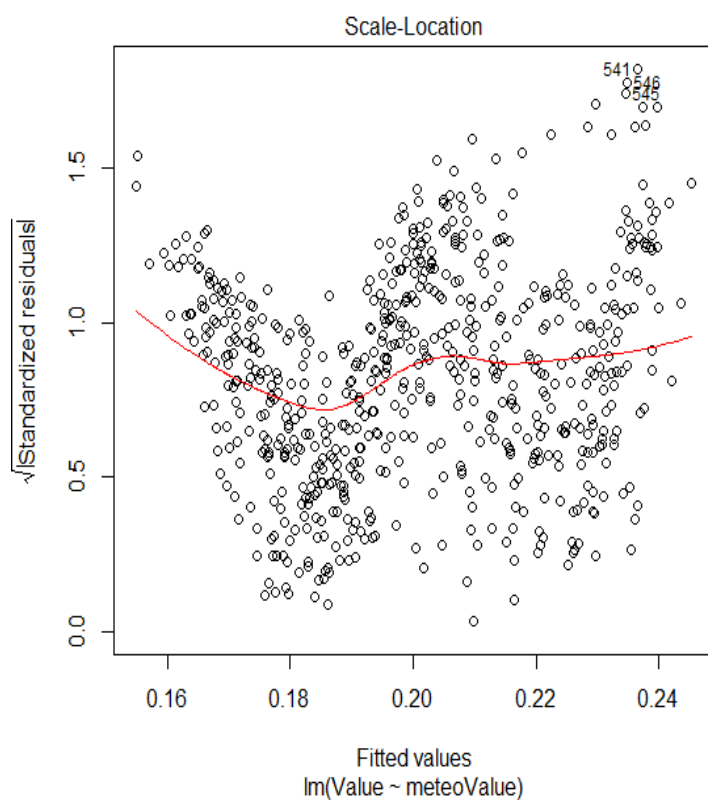
C
## [1] 0.1725679
```

#### Pas 11: Comprovar el model lineal generat

*#Es grafiquen els resultats obtinguts de la línia de regressió generada:*

```
plot(out.lm)+theme_bw()
```

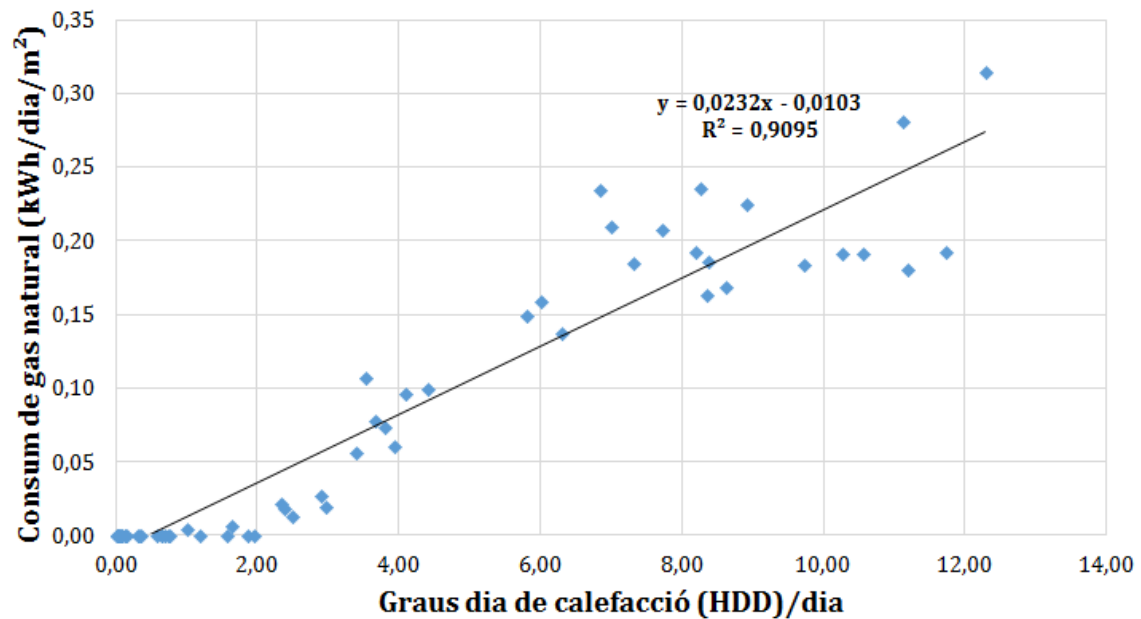




## Annex 2: Línies de rendiment de la calefacció

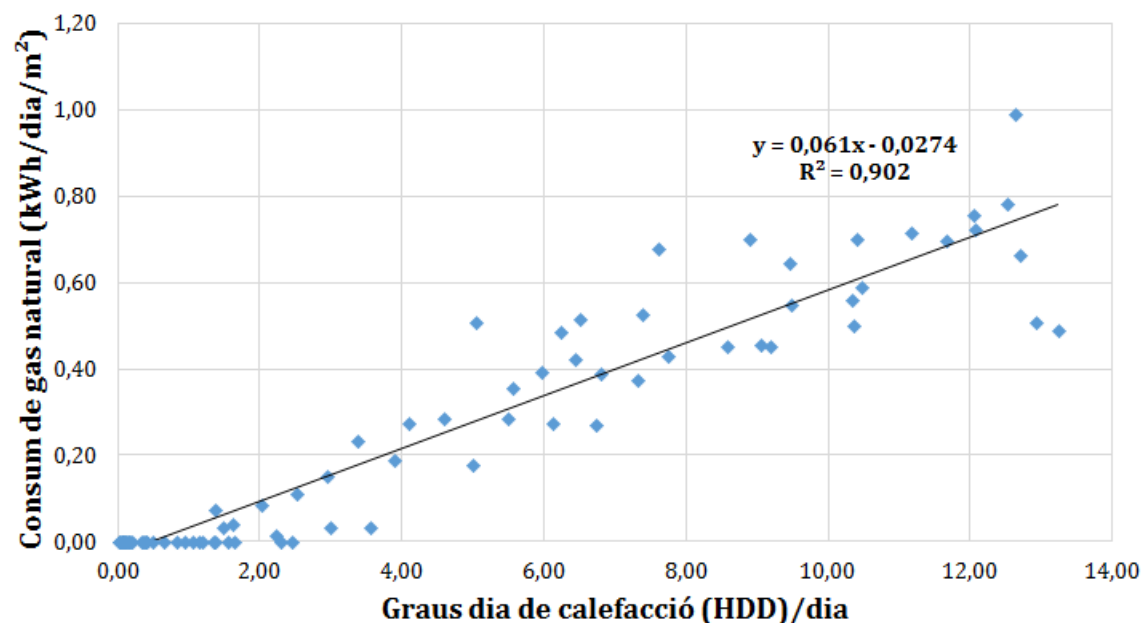
### E1: Edifici CCCT Cappelletti

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=16,5^{\circ}\text{C}$**



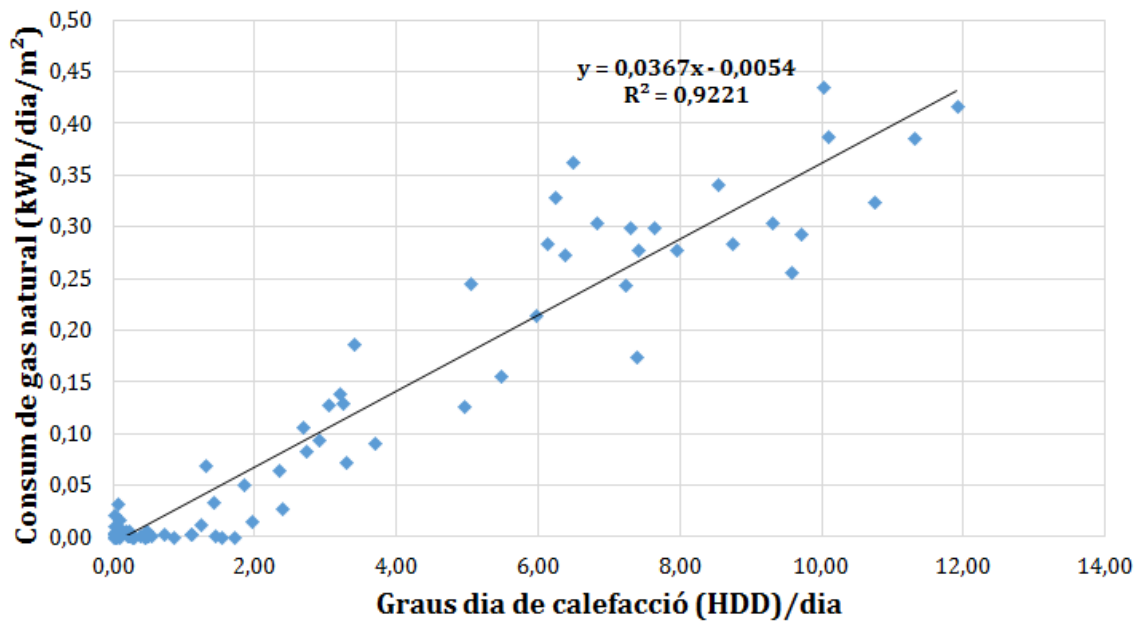
### E3: Edifici CREA Cappelletti

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=17,5^{\circ}\text{C}$**



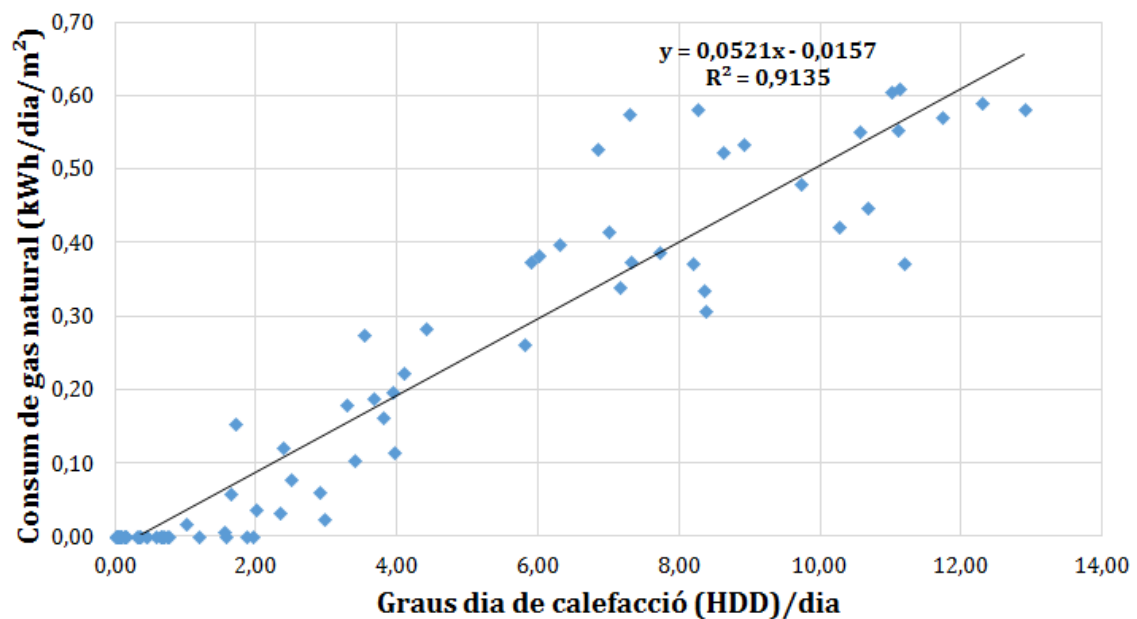
**E4: Edifici EPS Cappont**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=15,5^{\circ}\text{C}$**



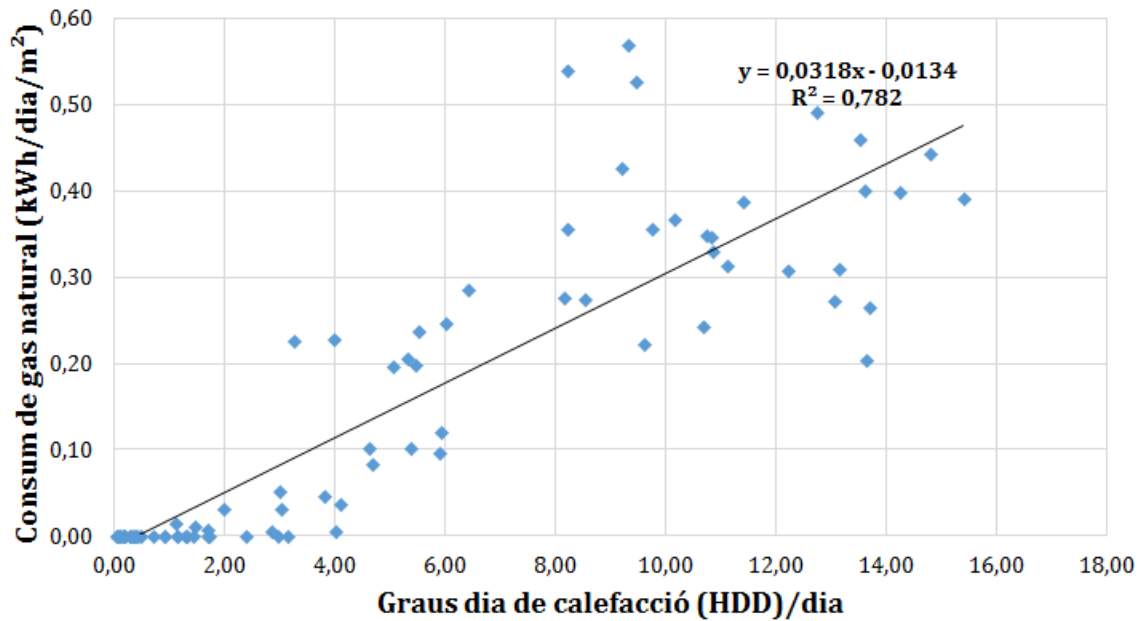
**E5: Edifici FDE Cappont**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=16,5^{\circ}\text{C}$**



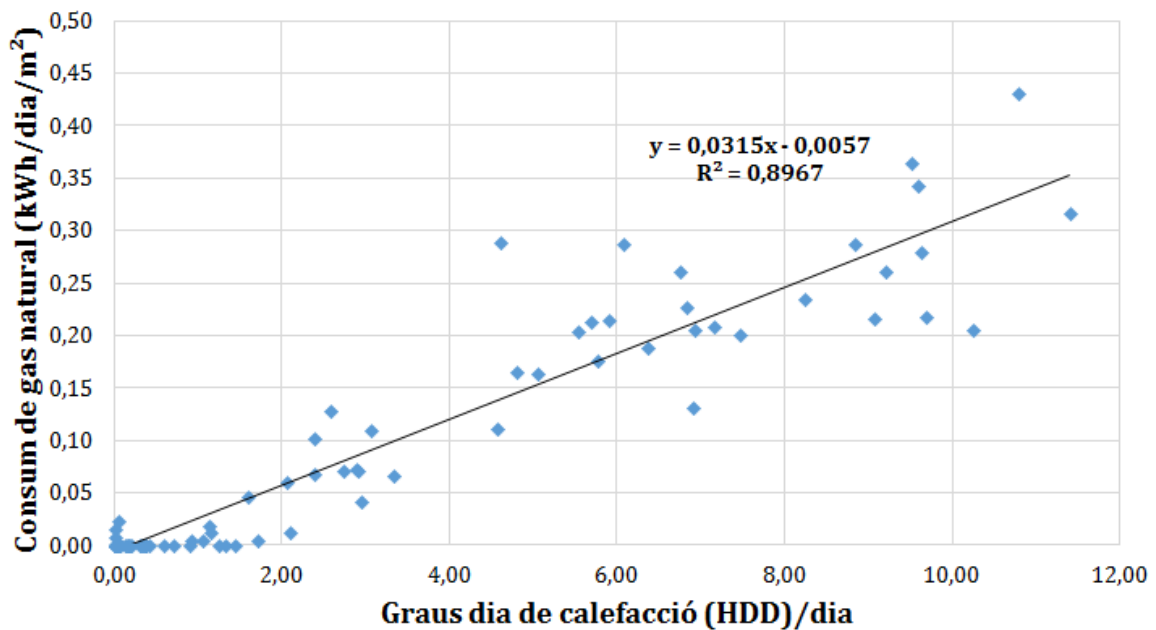
### **E6: Edifici FCE Cappont**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=19^{\circ}\text{C}$**



### **E7: Edifici Polivalent**

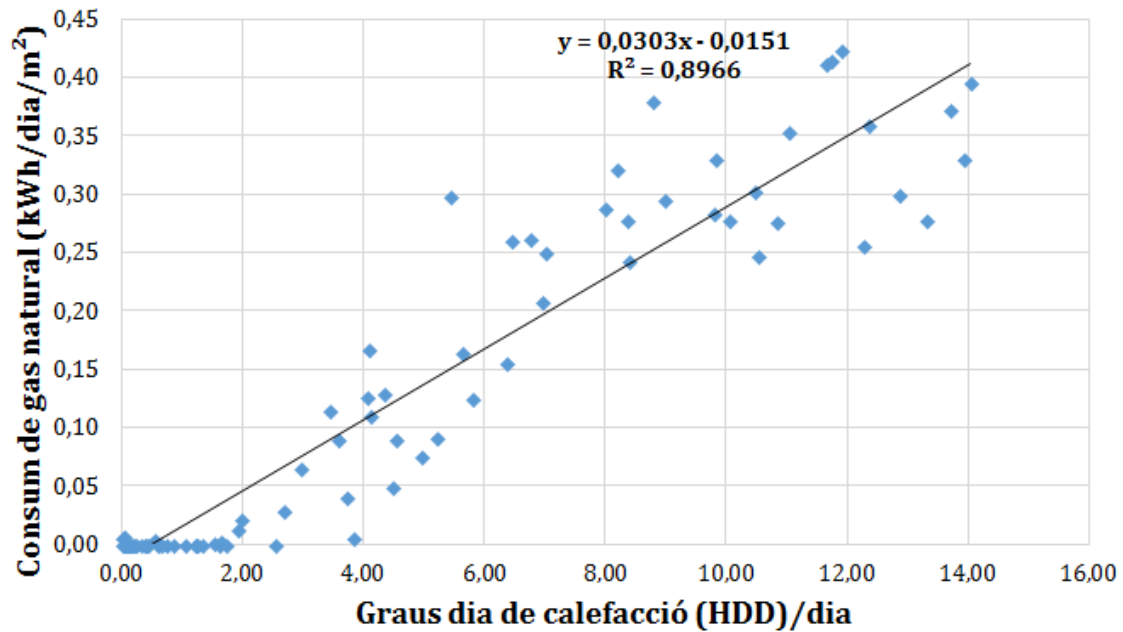
**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=15^{\circ}\text{C}$**





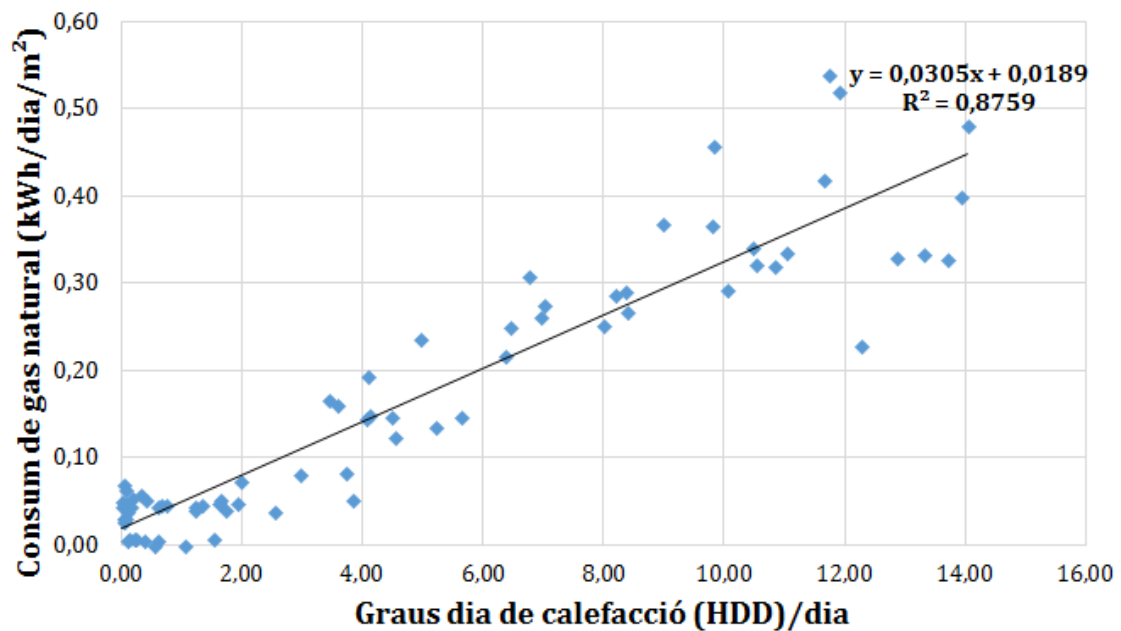
**E8: Rectorat**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=18^{\circ}C$**

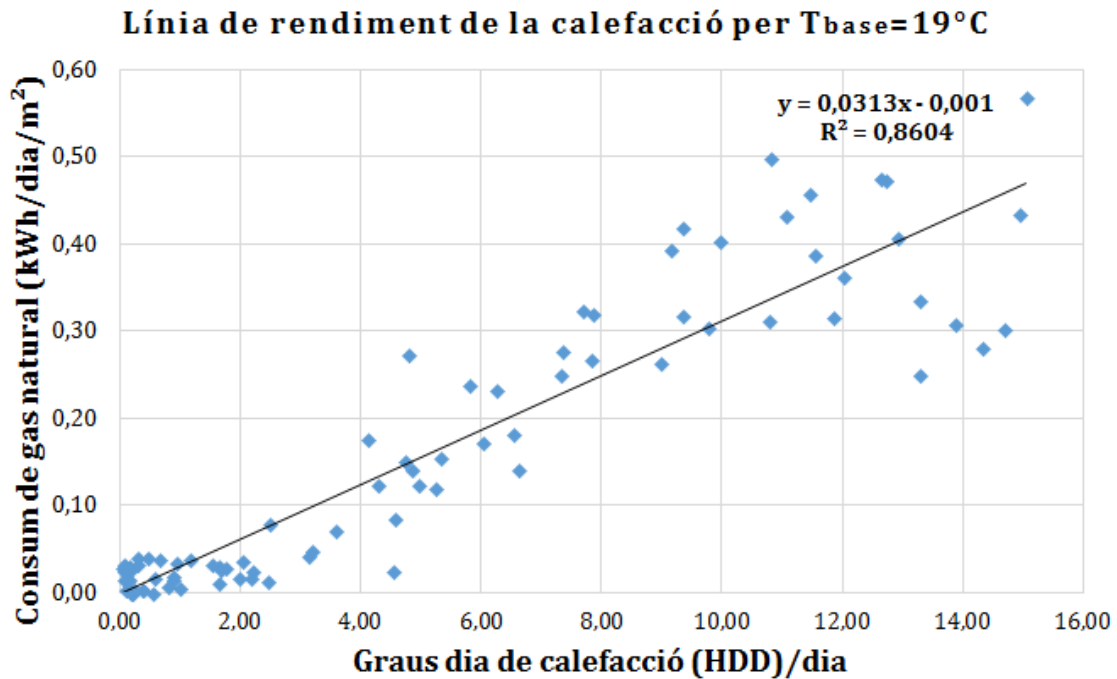


**E9: Edifici 1 del campus d'ETSEA**

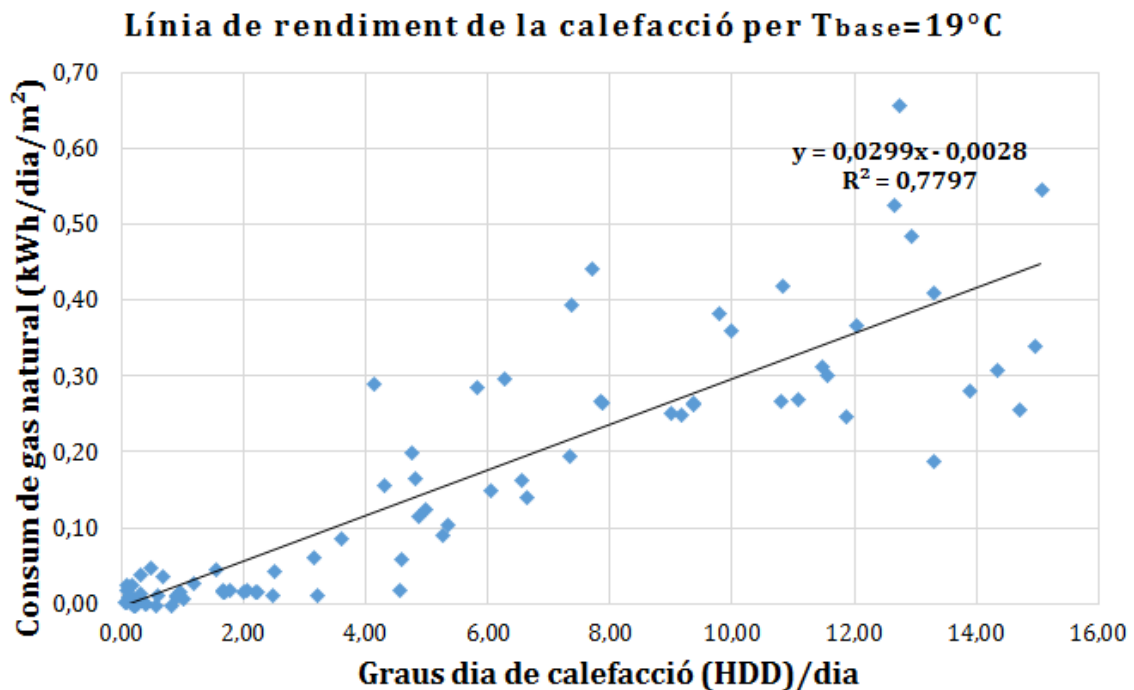
**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=18^{\circ}C$**



**E10: Edifici 2 del campus d'ETSEA**

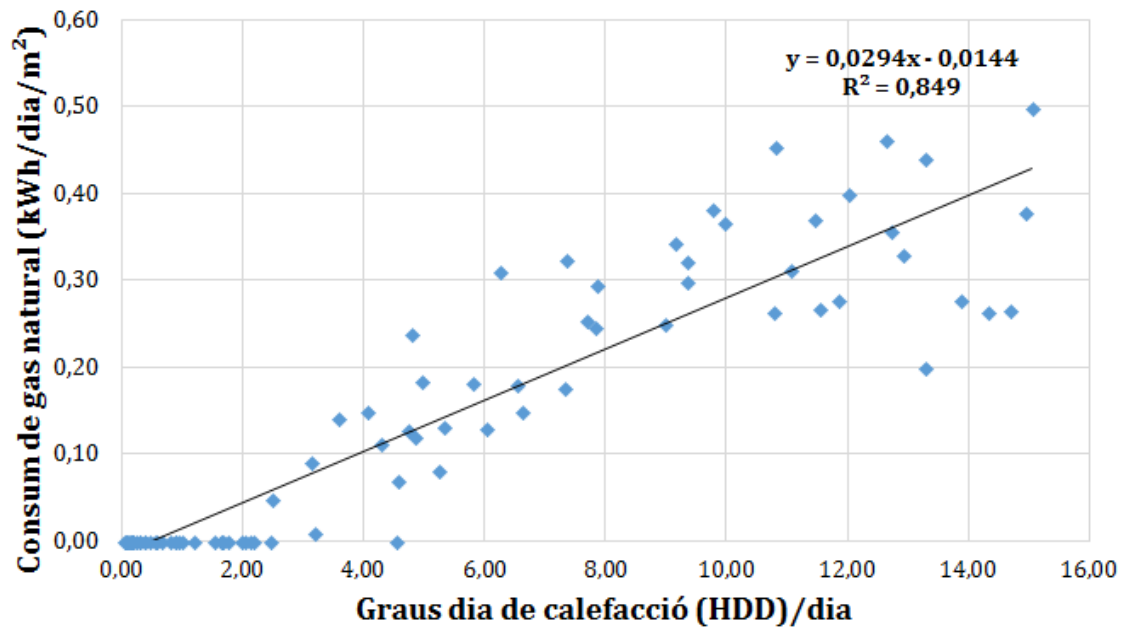


**E11: Edifici 3 del campus d'ETSEA**



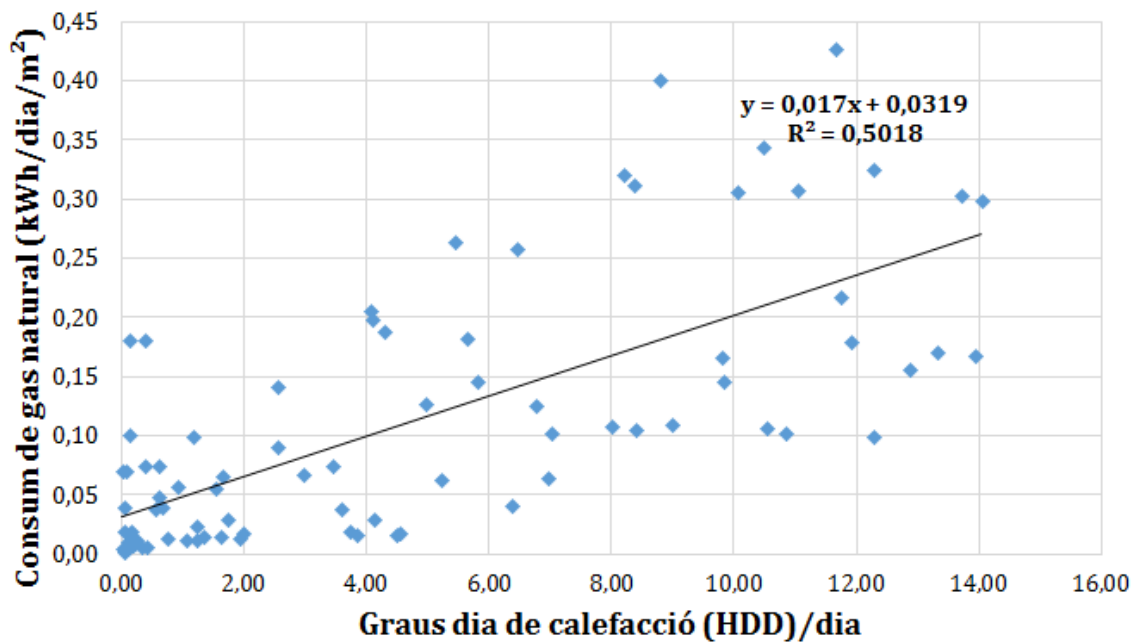
**E12: Edifici 4 del campus d'ETSEA**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=19^{\circ}\text{C}$**



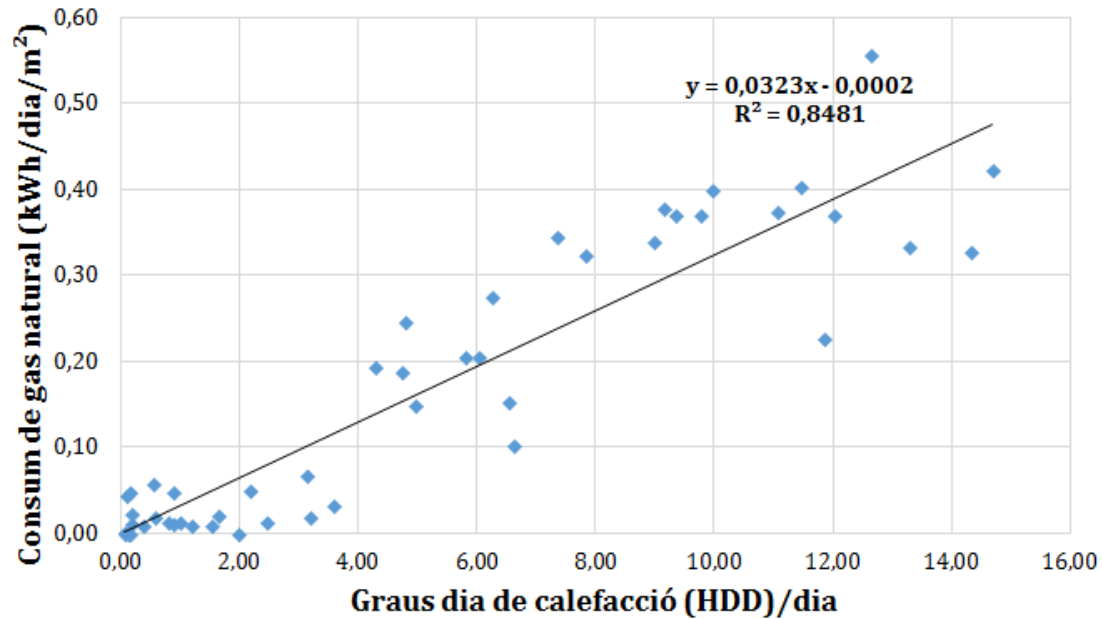
**E13: Edifici 5 del campus d'ETSEA**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=18^{\circ}\text{C}$**



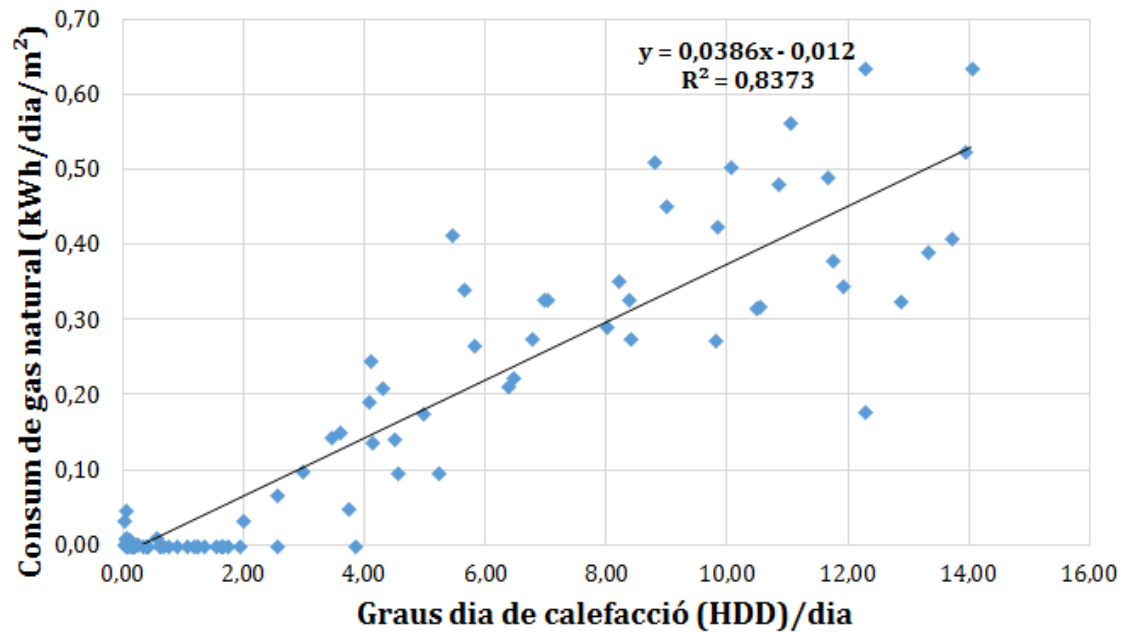
**E14: Edifici 5B del campus d'ETSEA**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=19^{\circ}\text{C}$**



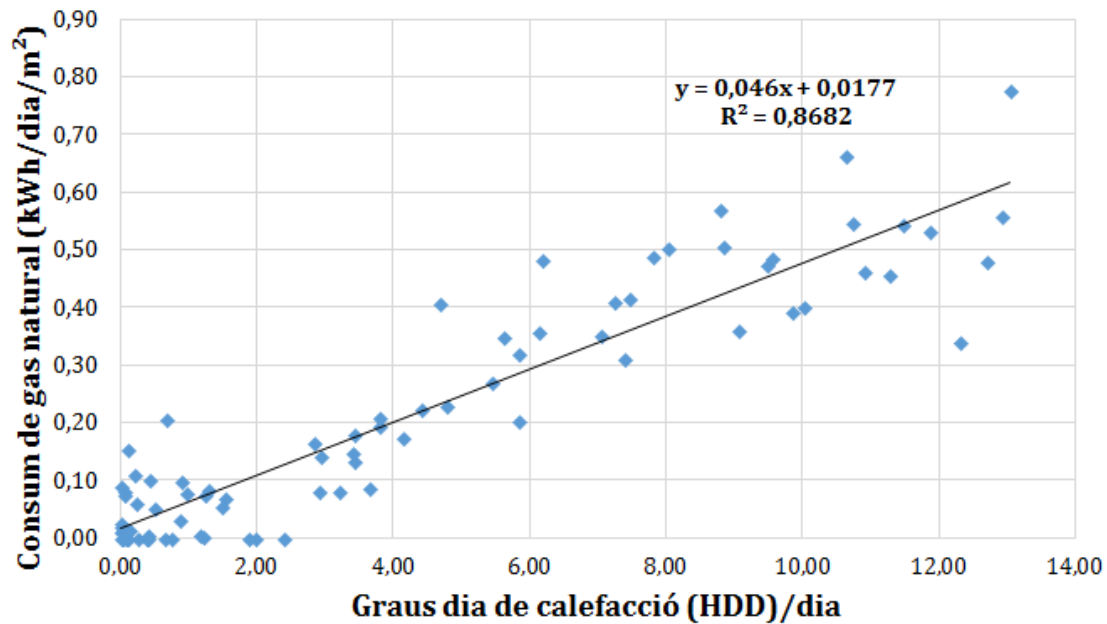
**E16: Edifici AB del campus d'ETSEA**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=18^{\circ}\text{C}$**



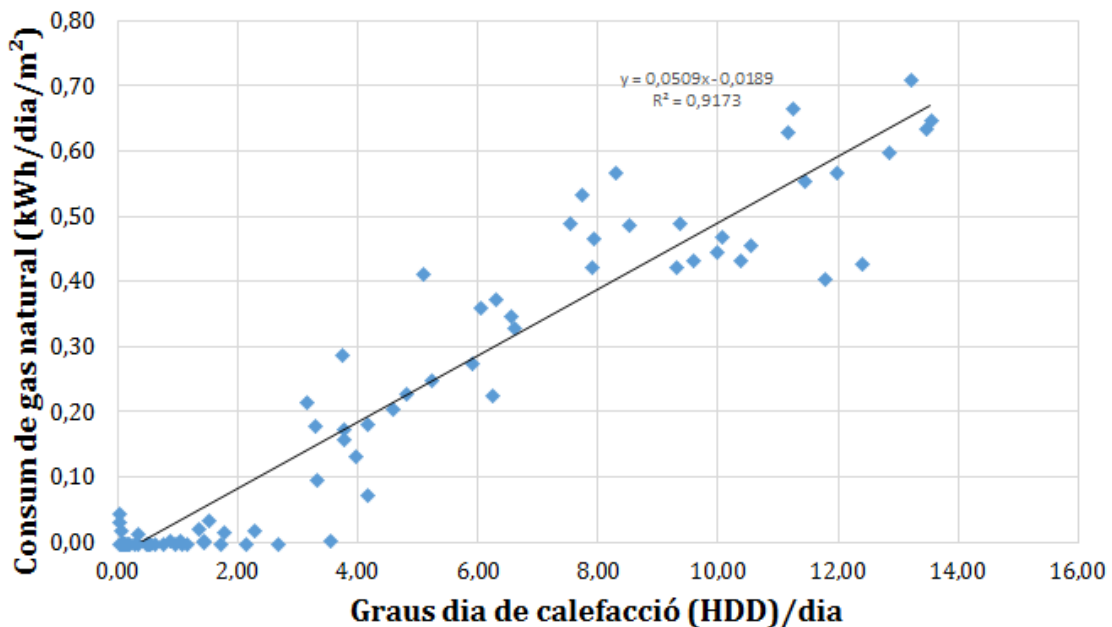
**E17: Facultat de Medicina**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=17^{\circ}\text{C}$**



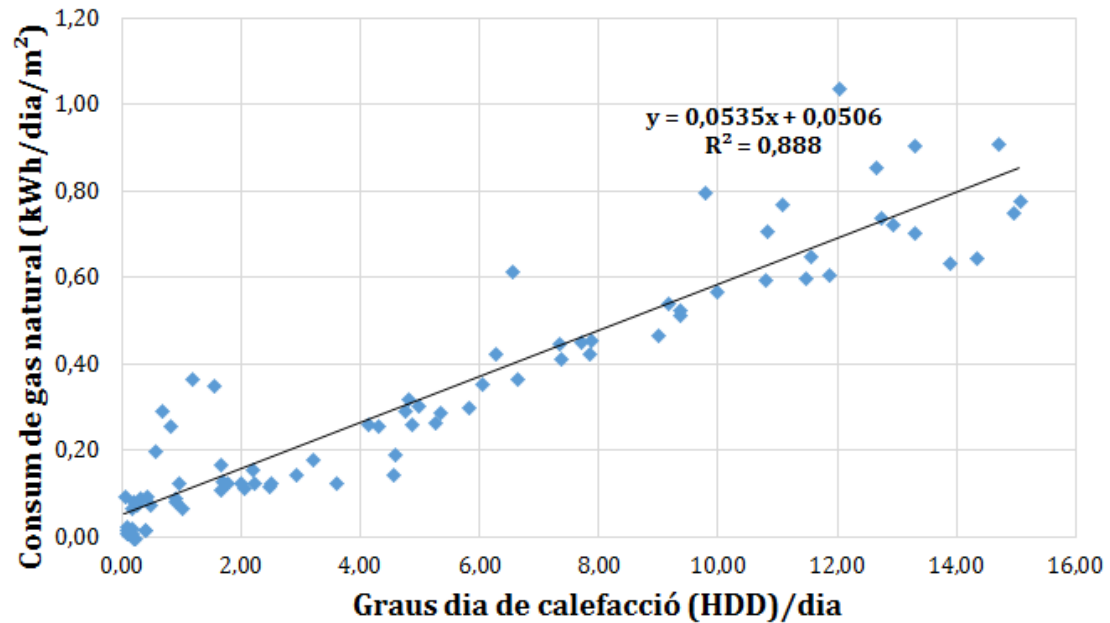
**E18: Facultat d'Infermeria**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=17,5^{\circ}\text{C}$**



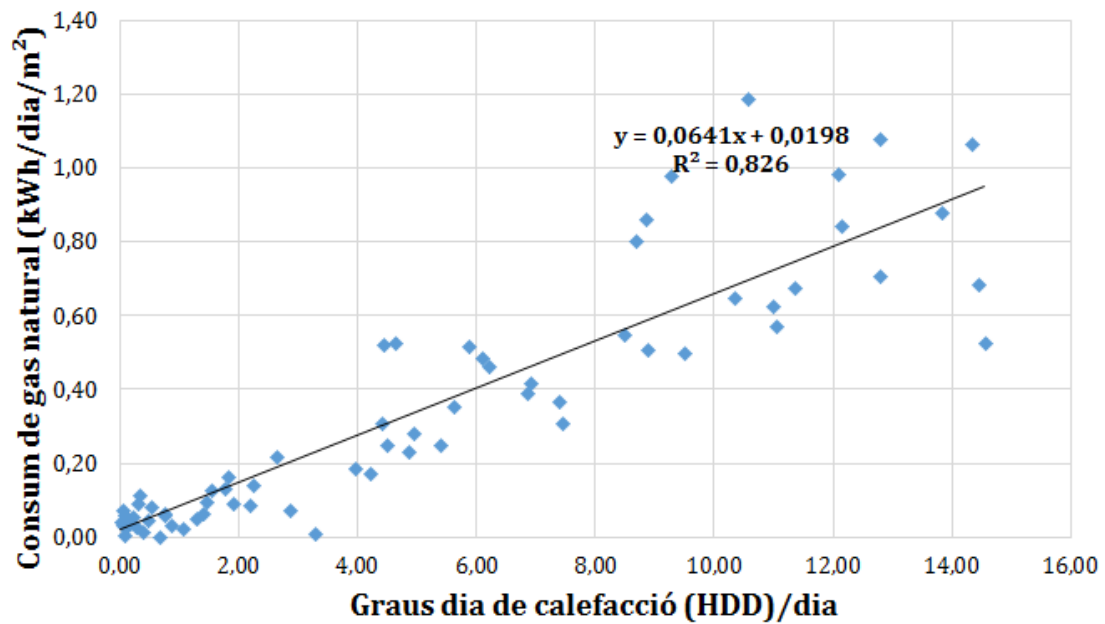
**E19: Arnau Edifici Docent i Estabulari**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=19^{\circ}\text{C}$**



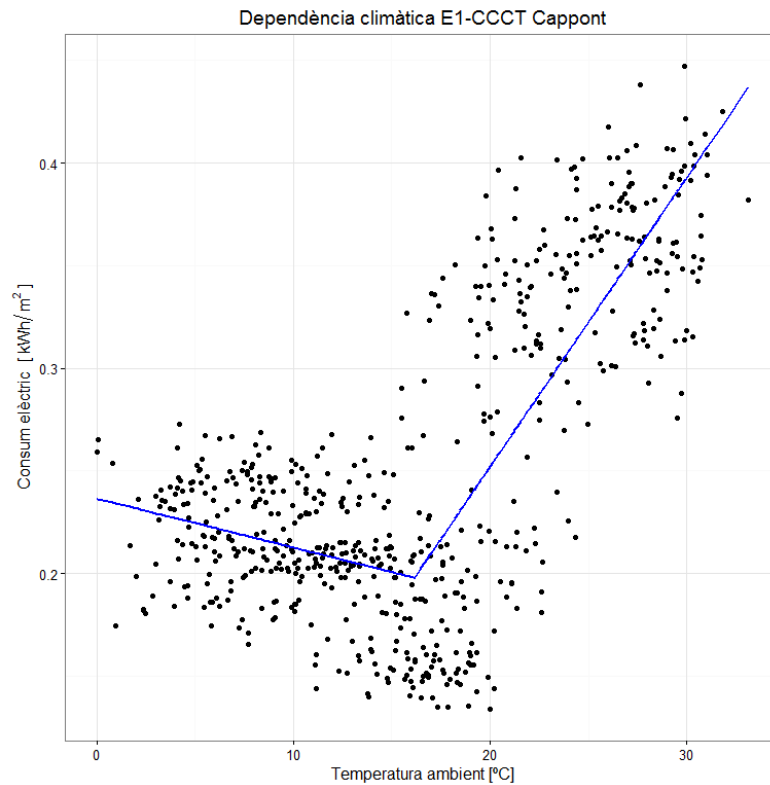
**E20: Biomedicina 1**

**Línia de rendiment de la calefacció per  $T_{base}=18,5^{\circ}\text{C}$**

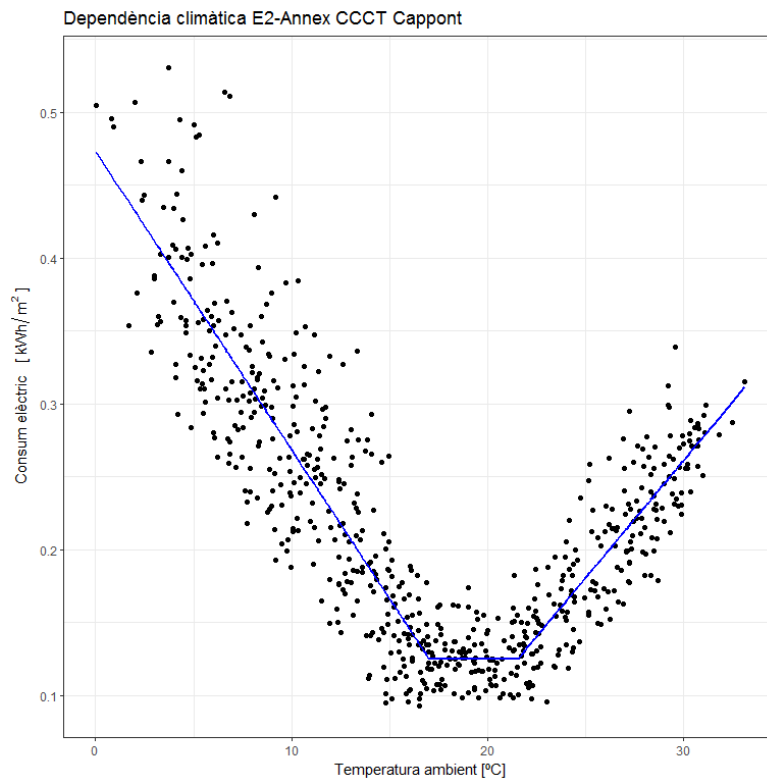


## Annex 3: Dependències climàtiques de les dades elèctriques horàries

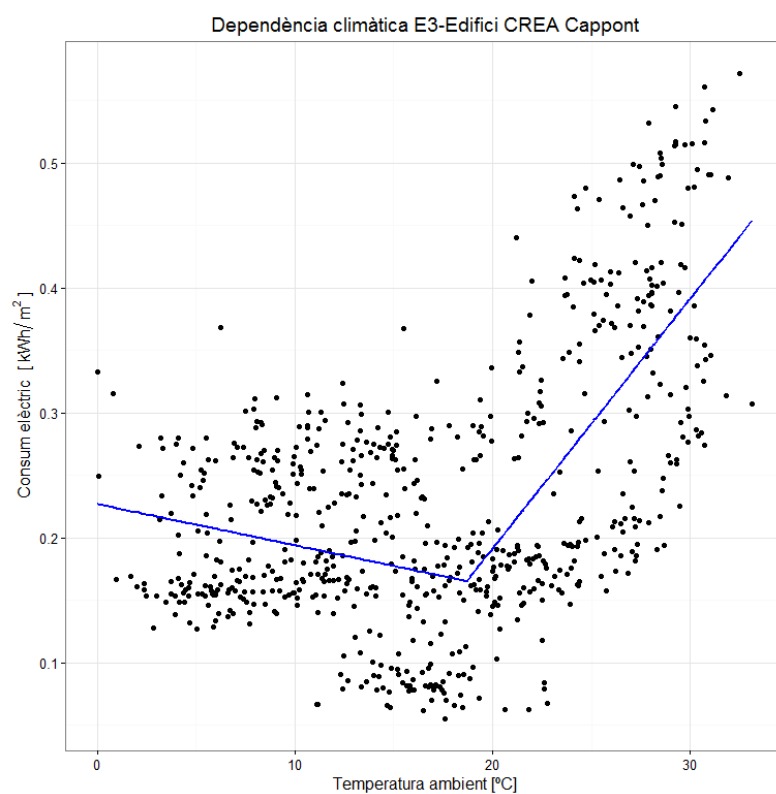
### E1: Edifici CCCT Cappont



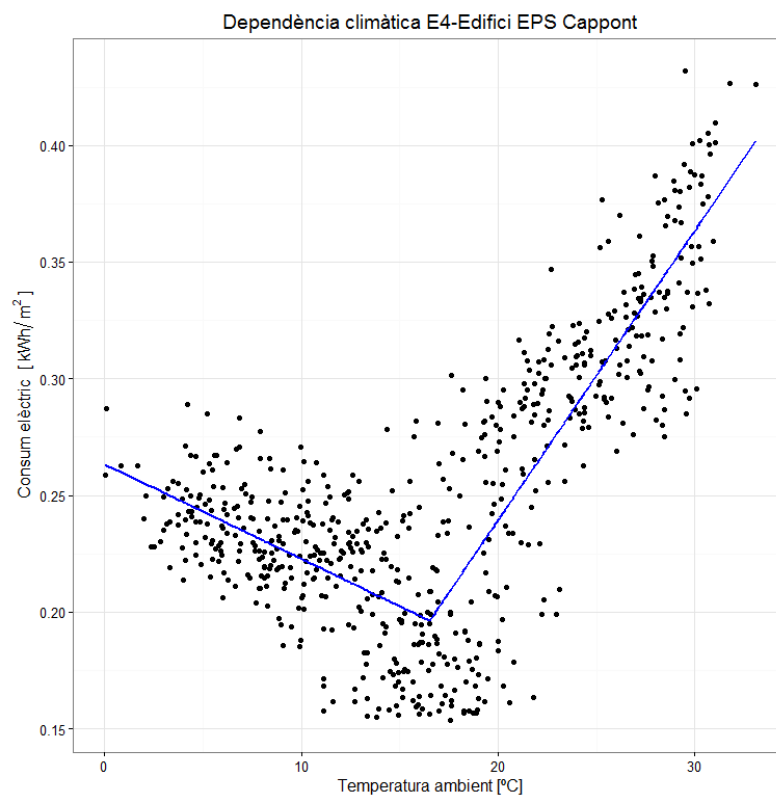
### E2: Edifici Annex CCCT Cappont



### **E3: Edifici CREA Cappont**

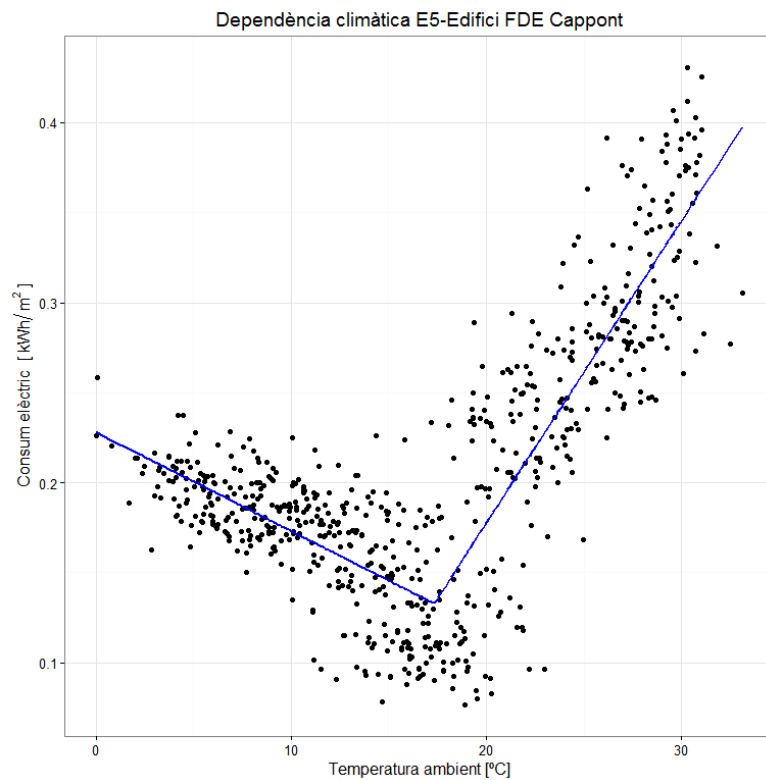


### **E4: Edifici EPS Cappont**

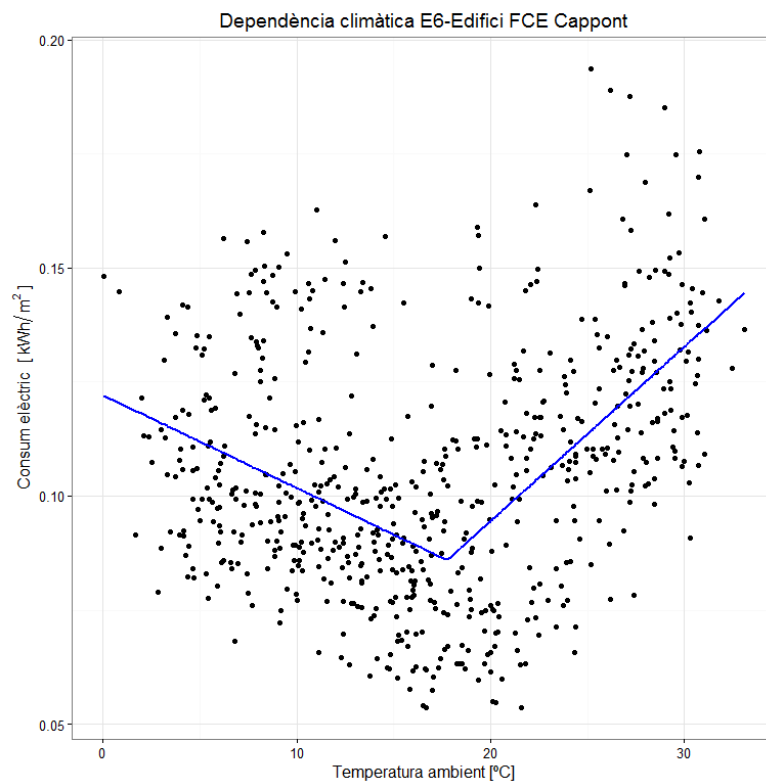




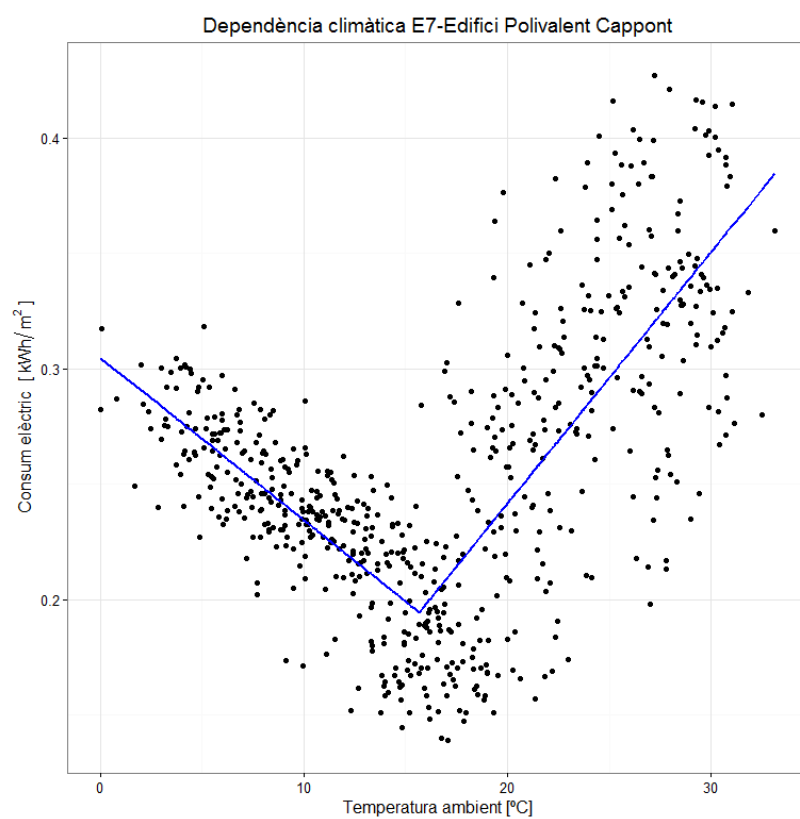
### **E5: Edifici FDE Cappont**



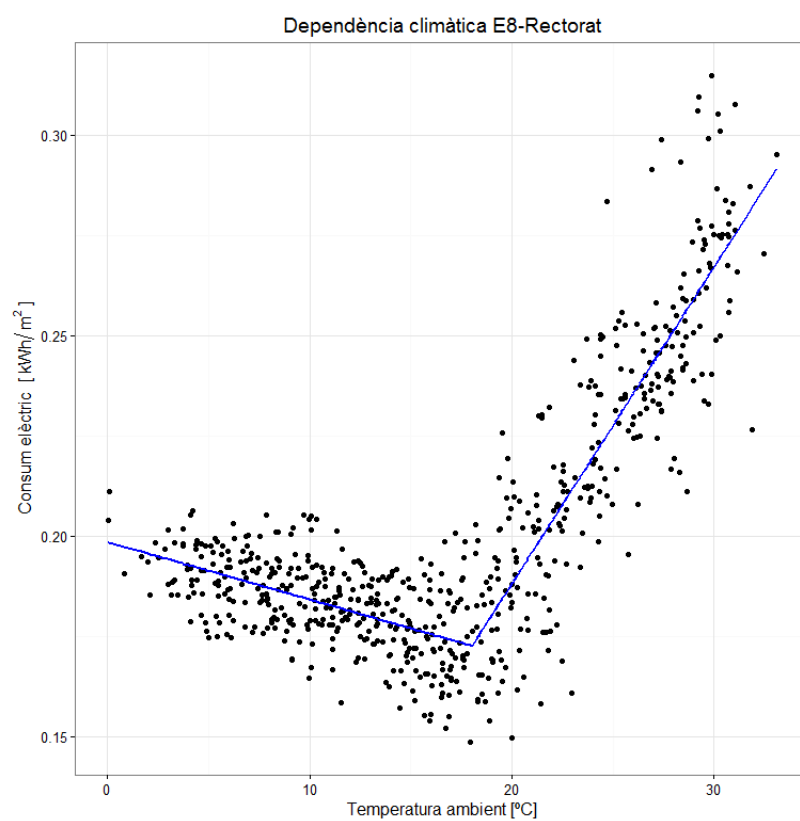
### **E6: Edifici FCE Cappont**



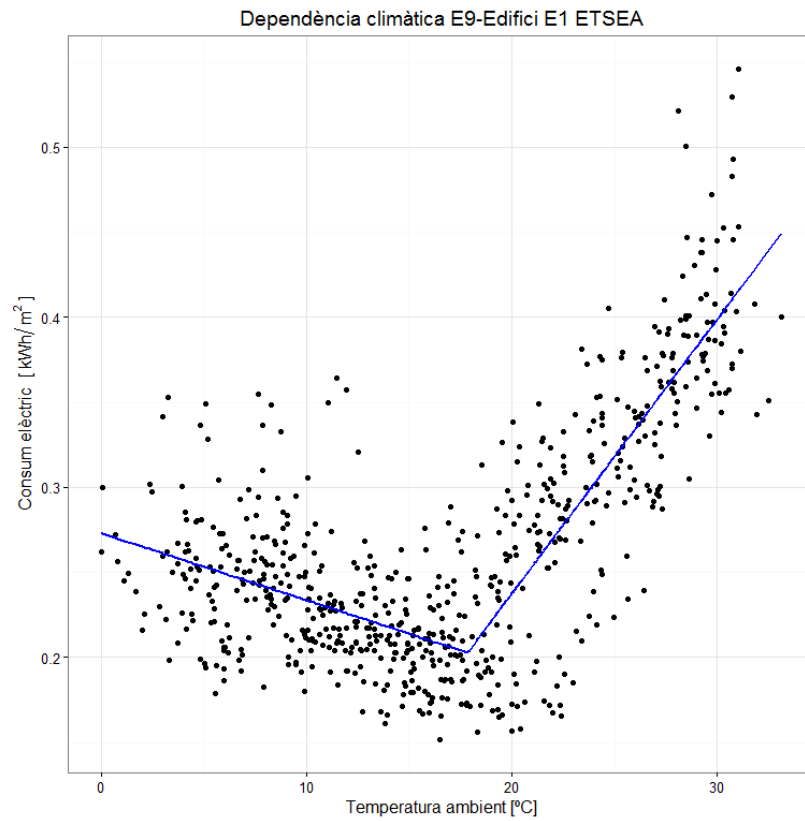
### **E7: Edifici Polivalent**



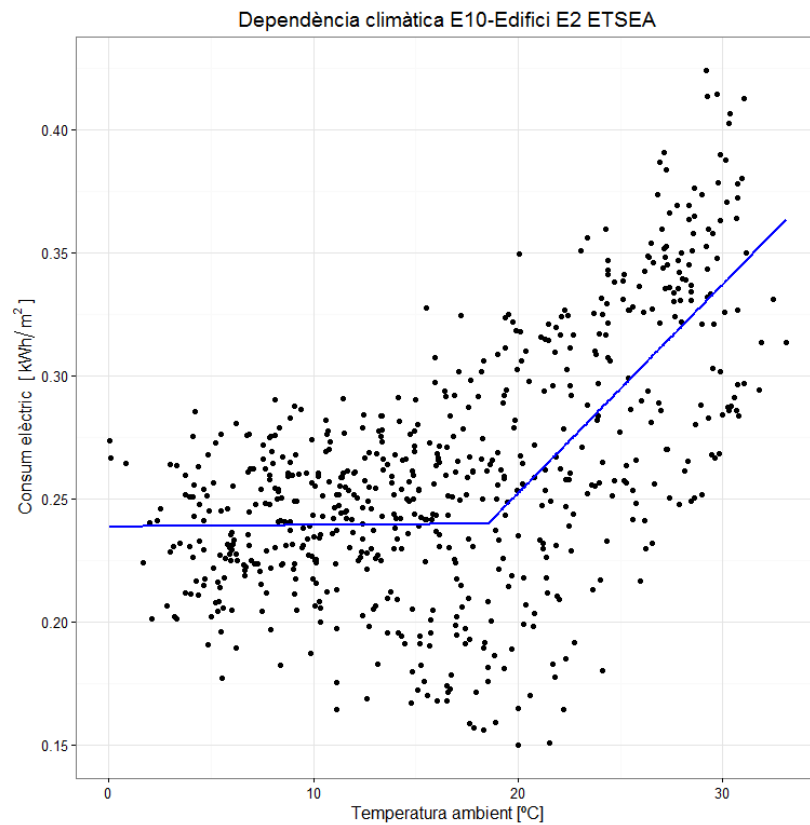
### **E8: Rectorat**



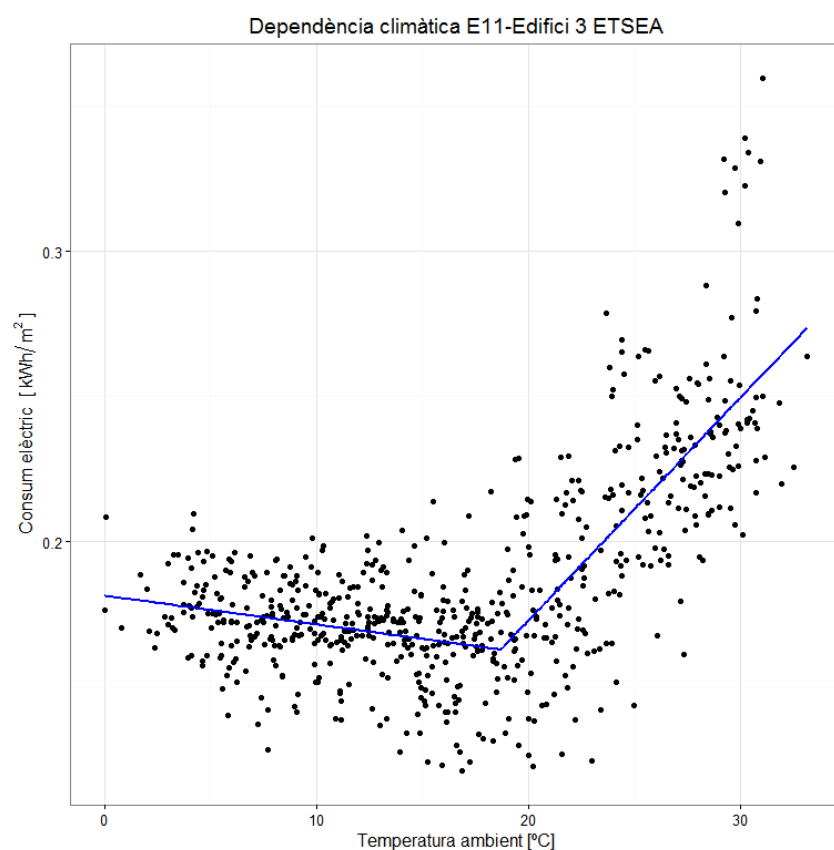
### **E9: Edifici 1 del campus d'ETSEA**



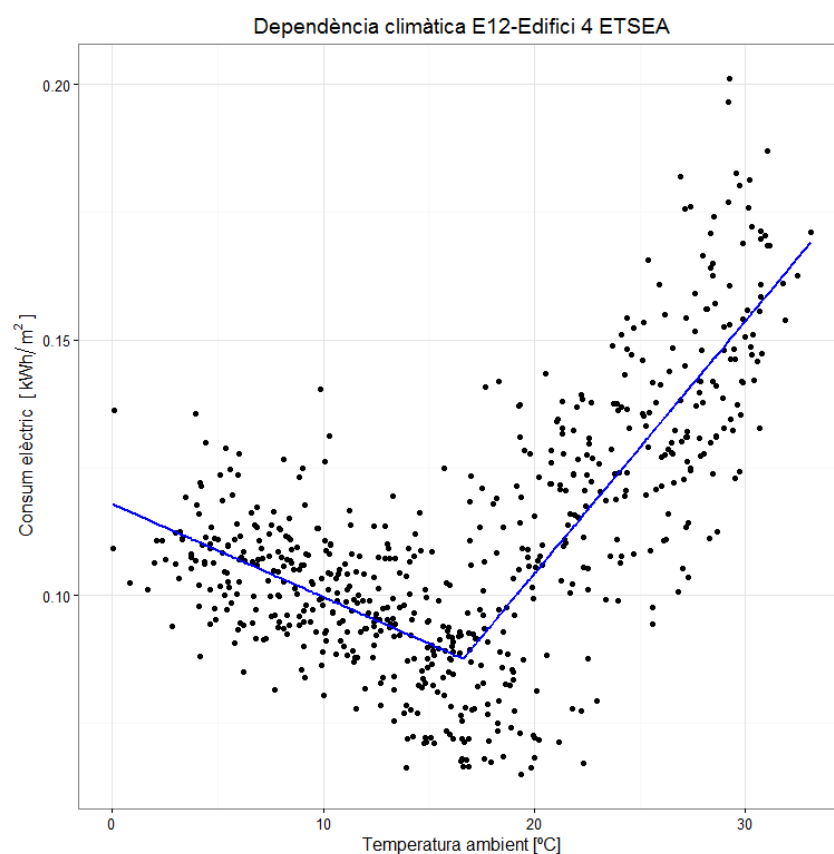
### **E10: Edifici 2 del campus d'ETSEA**



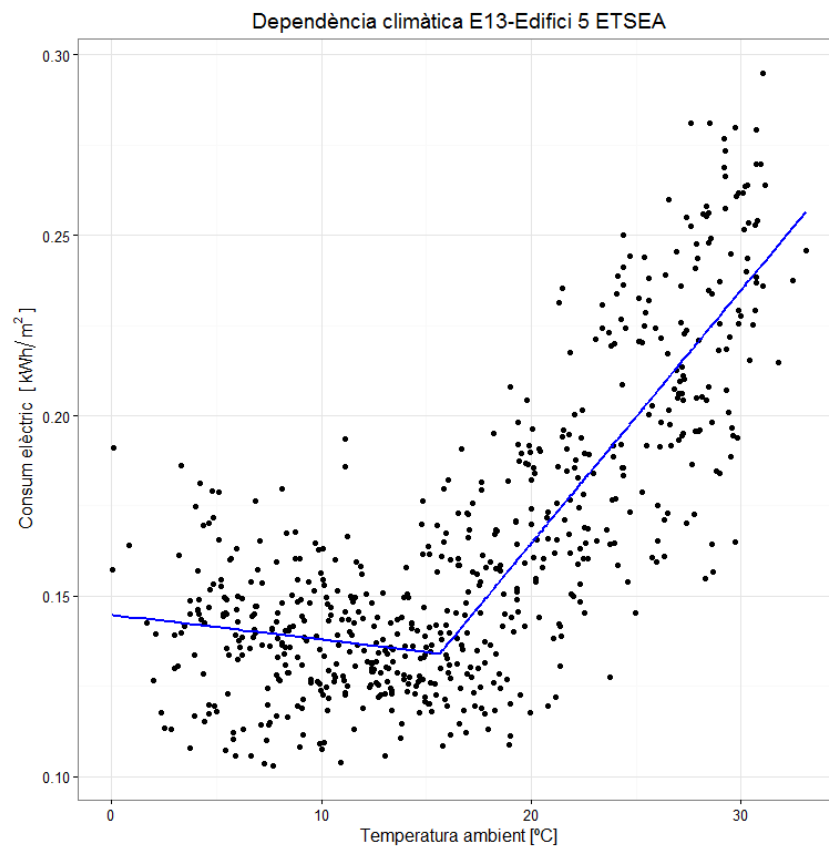
### **E11: Edifici 3 del campus d'ETSEA**



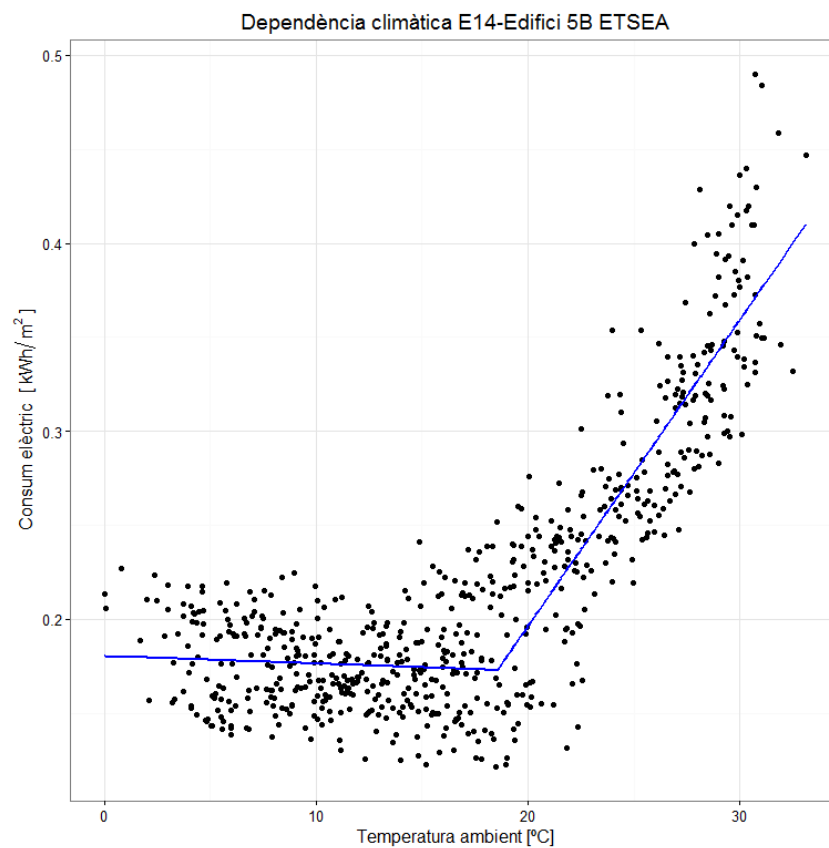
### **E12: Edifici 4 del campus d'ETSEA**



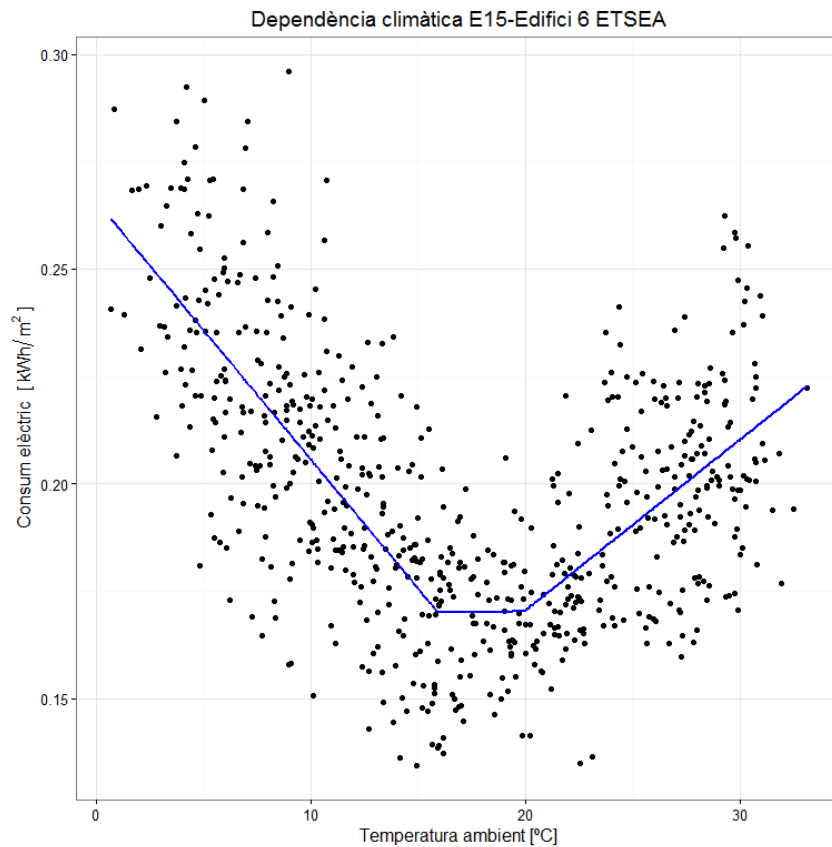
### **E13: Edifici 5 del campus d'ETSEA**



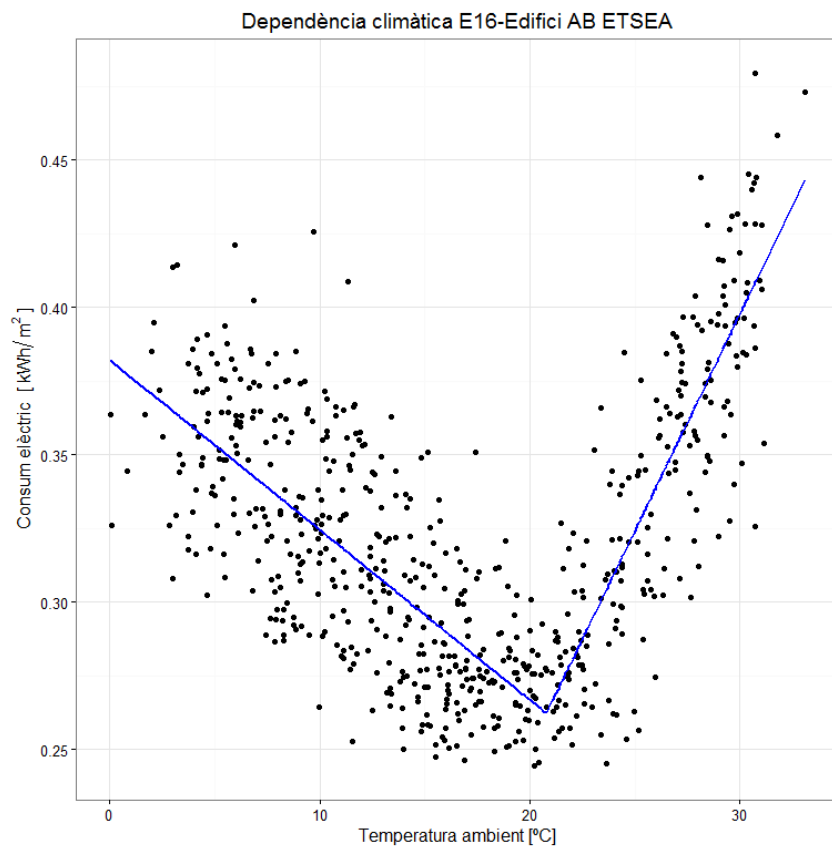
### **E14: Edifici 5B del campus d'ETSEA**



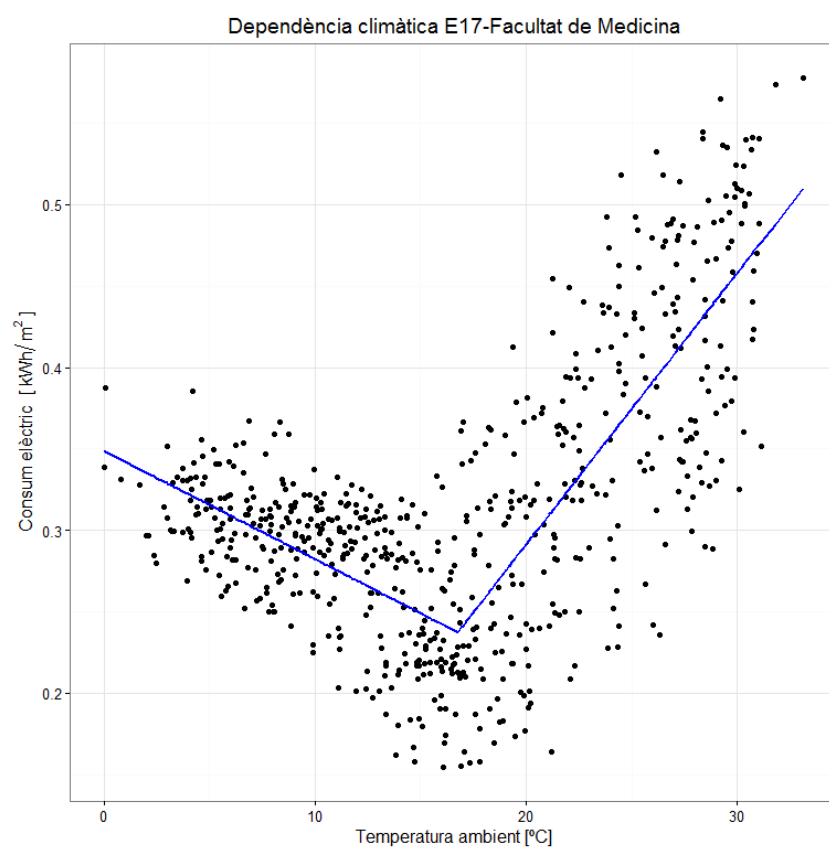
### **E15: Edifici 6 del campus d'ETSEA**



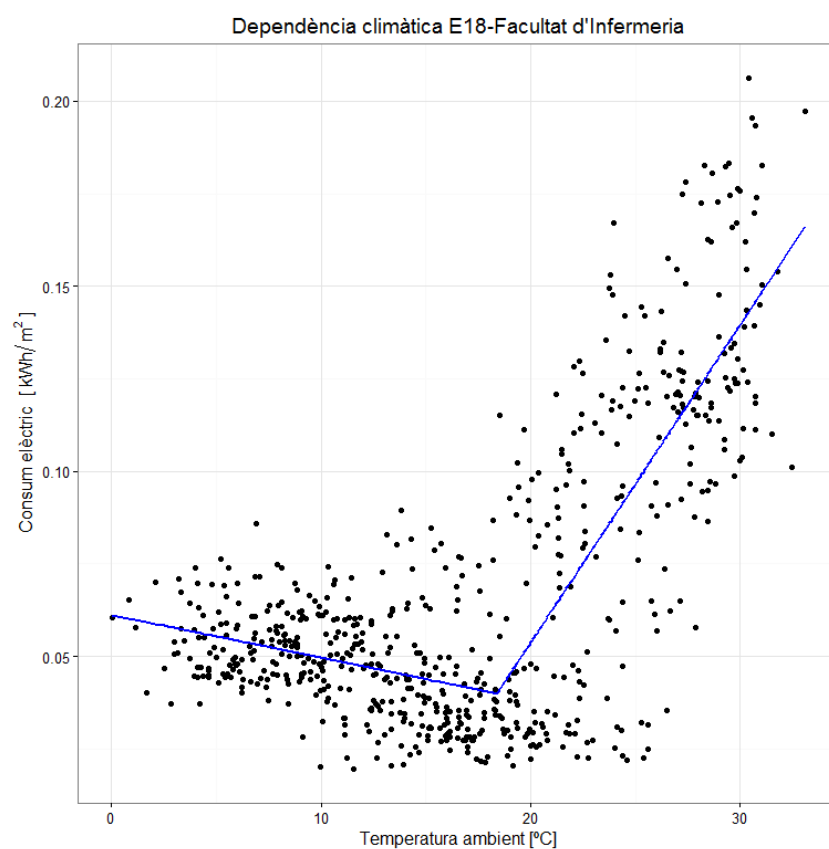
### **E16: Edifici AB del campus d'ETSEA**



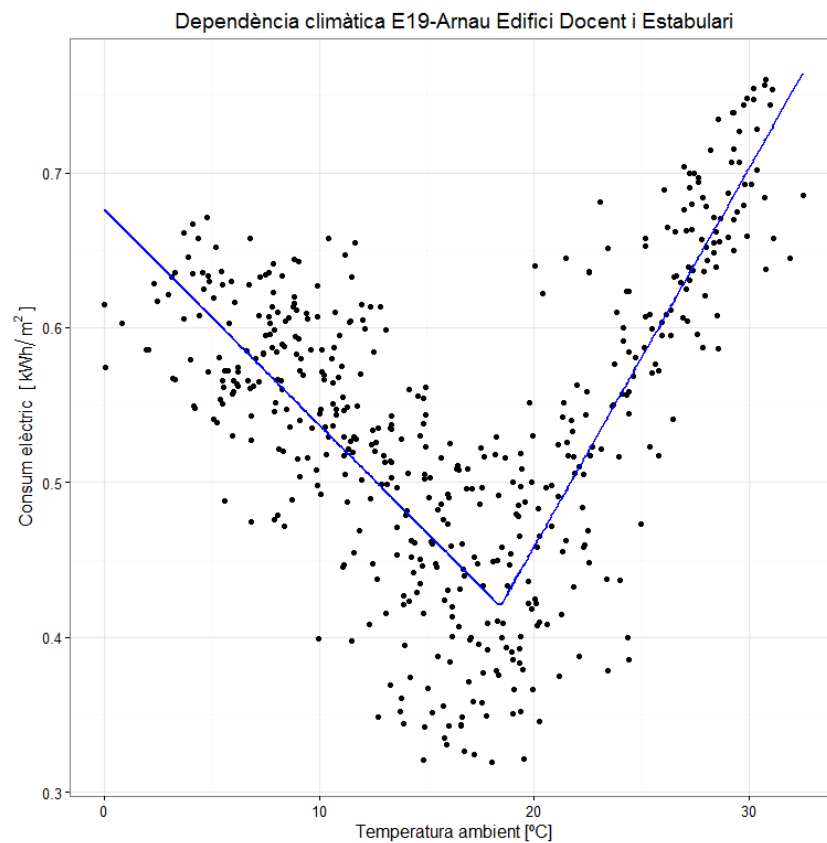
### **E17: Facultat de Medicina**



### **E18: Facultat d'Infermeria**



### **E19: Arnau Edifici Docent i Estabulari**



### **E20: Biomedicina 1**

